

Aus der Klinik und Poliklinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation  
der Medizinischen Fakultät der Charité - Universitätsmedizin Berlin

## DISSERTATION

Durchblutungsänderungen von Haut und Nasenschleimhaut durch  
Konditionierung mittels verschiedener gewohnheitsmäßiger  
hydrotherapeutischer Maßnahmen

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae ( Dr. med. )

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Charité -  
Universitätsmedizin Berlin

von

Joachim Blaurock

aus Berlin

Dekan: Prof. Dr. med. Martin Paul

Gutachter:   1. Priv.-Doz. Dr. med. R. Brenke  
                  2. Prof. Dr. K.-L. Resch  
                  3. Priv.-Doz. Dr. M. Pohl

Datum der Promotion: 3.2.2006

# INHALT

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	1
<b>2. Literaturanalyse</b>	4
2.1. Die Mikrozirkulation als Funktion des Wärmehaushaltes	4
2.2. Zum Stand der Auswertung von Abhärtungsmaßnahmen	9
<b>3. Aufgabenstellung</b>	14
<b>4. Methodik</b>	15
4.1. Probanden	15
4.2. Charakterisierung der Abhärtungsmaßnahmen	16
4.3. Untersuchungsmethoden	17
4.3.1. Lokale und konsensuelle Vasomotorik und Vasomotion	17
4.3.2. Die akrale Wiedererwärmungsreaktion	20
4.4. Versuchsbedingungen	22
4.5. Statistische Verfahren	22
4.6. Auswertung der Vasomotorik und Vasomotion	23
4.7. Auswertung der akralen Wiedererwärmungsreaktion	26
<b>5. Ergebnisse</b>	27
5.1. Konsensuelle Reaktion von Vasomotorik und Vasomotion an der Nasenschleimhaut von Kontrollpersonen, Sauna - gängern und Winterschwimmern auf einen Kaltreiz am Fuß	28
5.1.1. Die Durchblutung an der Nasenschleimhaut	28
5.1.2. Die Amplitude der Vasomotion an der Nasenschleimhaut	32
5.1.3. Die Frequenz der Vasomotion an der Nasenschleimhaut	37
5.2. Konsensuelle Reaktion von Vasomotorik und Vasomotion am Hypothenar von Kontrollpersonen, Saunagängern und Winterschwimmern auf einen Kaltreiz am Fuß	38
5.2.1. Die Durchblutung am Hypothenar	38
5.2.2. Die Amplitude der Vasomotion am Hypothenar	42
5.2.3. Die Frequenz der Vasomotion am Hypothenar	43

5.3.	Lokale Reaktion von Vasomotorik und Vasomotion bei einem Eisschmelzwasserbad am rechten Mittelfinger von Kontrollpersonen, Saunagängern und Winterschwimmern	46
5.3.1.	Die Durchblutung am Mittelfinger	46
5.3.2.	Die Amplitude der Vasomotion am Mittelfinger	49
5.3.3.	Die Frequenz der Vasomotion am Mittelfinger	54
5.4.	Akrale Wiedererwärmung am Zeigefinger von Kontroll- personen, Saunagängern und Winterschwimmern	58
<b>6.</b>	<b>Diskussion</b>	64
6.1.	Die Messung, Regelung und Abhärtung des Kreislaufes	64
6.2.	Die Körpertemperatur als Kreislauffunktion	68
6.3.	Das Verhalten konsensueller Auswirkungen eines kalten Fußbades auf Vasomotorik und Vasomotion von Kontroll- Personen, Saunagängern und Winterschwimmern	71
6.3.1.	Vasomotorik und Vasomotion an der Nasenschleimhaut bei einem kalten Fußbad	71
6.3.2.	Vasomotorik und Vasomotion am Hypothenar bei einem kalten Fußbad	73
6.4.	Das Verhalten lokaler Auswirkungen eines Eisschmelzwasser- Bades auf Vasomotorik und Vasomotion von Kontrollpersonen, Saunagängern und Winterschwimmern	77
6.4.1.	Die Reaktion von Vasomotorik und Vasomotion am Mittel- Finger bei einem Eisschmelzwasserbad	77
6.4.2.	Die Reaktion der akralen Wiedererwärmung am Zeigefinger bei einem Eisschmelzwasserbad	79
<b>7.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	82
<b>8.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	84
<b>9.</b>	<b>Anhang</b>	
	Lebenslauf	
	Danksagung	
	Erklärung	

## 1. Einführung

Therapeutisch genutzte Reizmodalitäten haben die Besonderheit, daß das ihnen entsprechende Adaptationsniveau beim zivilisierten Menschen sehr niedrig ist. Daher können auch begrenzte therapeutische Reizexpositionen bereits adaptive Prozesse auslösen (HILDEBRANDT et al. 1998). Charakteristisch für die Lebensführung der meisten Menschen hochzivilisierter Industriestaaten ist ein Mangel an natürlichen Reizen (z. B. Bewegungsarmut, thermische Verweichlichung). Eine häufig diskutierte Möglichkeit, den sich daraus entwickelnden Folgen entgegenzuwirken, ist neben dem Sport die *Abhärtung*.

Die Adaptation des Stoffwechsels junger Männer, die 6 Wochen leicht bekleidet im norwegischen Hochland gelebt und die Nächte bei Temperaturen um +3° C in leichten Schlafsäcken verbracht hatten, führt zu einer deutlichen Stoffwechselerhöhung unter Rückgang des Kältezitterns und ermöglicht ein subjektiv angenehmeres höheres Hauttemperaturniveau (SCHOLANDER et al. 1958).

Der wissenschaftliche Nachweis von Abhärtung setzt eine klare Definition des Begriffs voraus, die zunächst Schwierigkeiten bereitet. Nicht nur in der Bevölkerung, sondern auch in Publikationen kommen unscharfe Vorstellungen über die Abhärtung zum Ausdruck. Dazu kommt noch die teilweise synonyme Verwendung der Termini „spezifische und unspezifische Adaptation, Akklimatisation, Anpassung, Gewöhnung, Habituation, Konditionierung, Modifikation, Resistenz“ oder „Training“. Insbesondere die *spezifische und unspezifische Adaptation*, zu deutsch Anpassung, steht mit dem Begriff der Abhärtung im Zusammenhang.

BRÜCK charakterisierte 1964 die *spezifische* physiologische Adaptation als Spezialisierung von Einstellungen des Organismus auf ungewohnte Umwelteinwirkungen. Dies erfolgt sowohl durch Modifikationen von Funktionsabläufen als auch durch morphologische Veränderungen. Demgegenüber ist die Abhärtung eine *unspezifische* Adaptation, die nahezu *universelle* Steigerung der Resistenz des Menschen gegenüber verschiedenartigsten Reizeinwirkungen!

Diese unspezifischen Reaktionen laufen nach Einwirkung eines beliebigen sogenannten "Stressors" gleichförmig ab. Stressoren sind Umwelteinwirkungen im weitesten Sinne, wie Kälte, Hitze, Arbeitsbelastung, Sauerstoffmangel, Schmerz etc. Eine „*dosierte*

*Stressorintensität“* ist Voraussetzung für die Abhärtung, andernfalls wäre ein blockierender Effekt bezüglich der Abhärtung die Folge (ADOLPH 1956).



*„Weil das **Barfußgehen** ein so vorzügliches Mittel ist, die Füße abzuhärten, sind Diejenigen glücklich, welche vermöge ihres Berufes im Sommer häufig barfuß gehen, wie die Landleute, weil sie dadurch ihrer Gesundheit sehr nützen.“ [Zitiert aus: So sollt ihr leben! Winke und Rathschläge für Gesunde und Kranke zu einer einfachen, vernünftigen Lebensweise und einer naturgemäßen Heilmethode von Sebastian Kneipp, Pfarrer in Wörishofen (Bayern). Kempten 1889 (1) zitiert nach Pracht-Ausgabe 1891.]*

*Internetquelle: Samuel Schick*

Der Begriff der Abhärtung beinhaltet nach BRENKE und SIEMS (1996) die wiederholte, bewußte oder unbewußte Exposition des Menschen gegenüber natürlichen Reizen mit der Folge einer allgemeinen Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten. Diese Definition geht von der Vorstellung einer insgesamt höheren gesundheitlichen Stabilität aus. Betrachtet man das System der Thermoregulation, ist noch relativ unklar, auf welchen Mechanismen diese Abhärtung insgesamt beruht. Sicher kommt der *akralen Durchblutungsregulation* große Bedeutung zu. Zum Nachweis stressorunspezifischer Modifikationen durch wiederholte Reizeinwirkungen bieten sich viele Verfahren der Balneologie und Klimatologie an. Durch Studien an *gewohnheitsmäßigen* Winterschwimmern - im Kapitel 5. auch Eisbader genannt - (wöchentlich von September bis Mai) sowie Saunagängern (wöchentlich und ganzjährig) wurden in den letzten Jahren zwei Extremformen der Abhärtung wissenschaftlich untersucht.

*Objektive* Auswirkungen sind dabei insbesondere eine sinkende Infektanfälligkeit, vegetative Stabilisierung, immunologische Veränderungen und auch biochemische Anpassungen nach einem Kaltreiz durch verbesserte Durchblutungsadaptation. Jeder HNO- oder auch Kinderarzt weiß, daß die Durchblutung der Akren in engem reflektorischen Zusammenhang zur Durchblutung der Schleimhaut im Nasen-Rachen-Raum steht und somit eine große Bedeutung bei der Infektabwehr hat. Es stellt sich die Frage nach den *Wirkungswegen dieser Anpassungen*. Nach neueren Untersuchungen scheint hier die akrale Mikrozirkulation und dabei speziell die spontane Vasomotion eine zentrale Rolle zu spielen.

Die spontane arterielle *Vasomotion* beruht auf autorhythmischen Kontraktionen im Bereich der Arteriolen, Metarteriolen und präkapillären Sphinkteren. Frequenz und Intensität dieser Vorgänge nehmen mit abnehmendem Gefäßdurchmesser zu (INTAGLIETTA 1991).

Als *Vasomotorik* werden dagegen die *nicht* autorhythmischen vegetativ vermittelten Gefäßkaliberschwankungen insgesamt definiert.

In der vorliegenden Arbeit sollen *Durchblutungsregulationen* - insbesondere die spontane *Vasomotion* - von Schleimhaut- und Hautgefäßen in Ruhe und nach einem standardisierten Kaltreiz untersucht werden. Verglichen werden dabei Personen, die entweder regelmäßig an wechselwarme Reize (Sauna), an intensive Kaltreize (Winterschwimmen) oder an keine der beiden hydrotherapeutischen Verfahren gewöhnt sind. Die Untersuchungen verstehen sich als Beitrag zur Objektivierung therapeutischer Physiologie.

## 2. Literaturanalyse

### 2.1. Die Mikrozirkulation als Funktion des Wärmehaushaltes

Unter *Mikrozirkulation* versteht man nach SCHNIZER et al. (1985) Blutgefäße mit Durchmessern unter 300 Mikrometern (Präkapillaren, Kapillaren und postkapilläre Venolen) sowie das diese Gefäße durchströmende Blut. Die Funktion der Mikrozirkulation besteht im bedarfsgerechten Antransport von Sauerstoff und Substraten zum Gewebe sowie im Abtransport der aus dem Gewebestoffwechsel anfallenden Metabolite.

WITZLEB (1985) sieht in den Kapillaren den *funktionell* wichtigsten Teil des Kreislaufs. Hier hat das Blut relativ lange Kontaktzeiten mit einer sehr großen Oberfläche. Zusammen mit den vorgeschalteten Arteriolen und Metarteriolen sowie den Venolen bilden die Kapillaren die sogenannte „terminale Strombahn“. Als Hauptstrombahn werden die Metarteriolen bezeichnet, die von den Arteriolen abzweigen und einen etwas größeren Durchmesser als die Kapillaren haben. Glatte Muskelfasern finden sich noch im Anfangsteil der Metarteriolen als präkapilläre Sphinkteren sowie in den arteriovenösen Anastomosen.

WADE und BISHOP faßten 1962 die Durchblutung und Sauerstoffaufnahme verschiedener Organe des Menschen unter Ruhebedingungen zusammen. Für die Haut eines Probanden mit einem Körpergewicht von 70 kg und einer Körperoberfläche von 1,7 m<sup>2</sup> geben sie eine Durchblutung von 500 ml / min an.

Nach MELLANDER und JOHANSSON (1968) sind in den einzelnen Organkreisläufen die theoretisch möglichen Durchblutungssteigerungen verschieden stark ausgeprägt. Die lebenswichtigen Organe wie Gehirn und Nieren erfordern eine konstant hohe Durchblutung, die innerhalb bestimmter Grenzen sogar durch starke Veränderungen von arteriellem Druck sowie des Herzzeitvolumens nur wenig beeinflußt wird (s. auch BAUEREISEN 1971, JOHNSON 1978).

In den Gefäßgebieten mit stark wechselnden funktionellen Anforderungen (Haut, Skelettmuskulatur, Leber, Gastrointestinaltrakt) können dagegen die relativ größten Durchblutungsänderungen auftreten. Die Regulation der Hautdurchblutung z. B. erfolgt durch zwei unterschiedliche Mechanismen, die regional verschieden stark ausgeprägt sind: In den



*distalen akralen Hautgebieten (Nase, Ohr, Hand, Fuß)* finden sich zahlreiche sympathisch adrenerge vasokonstriktorische Fasern, die bereits unter umgebungsthermisch indifferenten Ruhebedingungen eine relativ starke tonische Aktivität entfalten (dilatatorische Reaktionen gehen daher von einer zentralen Hemmung dieser Aktivität aus.) Dagegen werden in der *Haut des Rumpfes und der proximalen Abschnitte der Extremitäten* die Vasodilationen überwiegend indirekt durch Freisetzung von Bradykinin mittels Erregung sudomotorischer cholinergischer Fasern ausgelöst (WITZLEB 1985).

Die Hautdurchblutung steht überwiegend im Dienste der Thermoregulation, deren Mechanismus nach CORDES (1972) und BARTSCH (1973) von den vegetativen Regelkreisen am höchsten in der zentralnervösen Hierarchie steht; zum Beispiel *führt beim Hitzekollaps das Aufrechterhalten der Thermoregulation bis zum Kreislaufversagen*. Nach HILDEBRANDT et al. (1998) sind die beiden Regelkreise für Blutdruck und Kerntemperatur „vermascht“: In Konkurrenzsituationen unterliegen die gefäßverengenden Impulse der Blutdruckregulation den gefäßerweiternden der Thermoregulation. Bei ungenügender Entwärmung, z. B. bei Behinderung der Verdunstung durch fehlende Ventilation bei hohem Wasserdampfgehalt der Luft, durch unangepasste Kleidung und Aktivität oder durch Wärmegewinn bei Sonneneinstrahlung, steigt trotz im Regelkreis maximal arbeitender Stellglieder die Körpertemperatur an.

Es kommt nun insbesondere bei älteren kreislaulabilen Menschen zum Hitzekollaps durch Blutdruckabfall und entsprechender Unterschreitung eines bestimmten Schwellenwertes für die Gehirndurchblutung, weil infolge der starken Vasodilatation der Hautgefäße ein Mißverhältnis zwischen zirkulierender Blutmenge und Gefäßkapazität entsteht. Mit zunehmender Hyperthermie verliert der Hypothalamus seine Fähigkeit zur Thermoregulation. Die Schweißrate sinkt drastisch, und damit auch die Wärmeabgabe. Hohe Körperkerntemperaturen von 41-43° C im Gehirn führen zur irreversiblen Zerstörung der Neuronen. Delirium, Krämpfe und Bewußtseinsschwund kennzeichnen das Erscheinungsbild dieser als Hitzschlag oder Sonnenstich bezeichneten Krankheit. Unter starker Abkühlung kommt es ebenfalls zu Bewußtseinsstörungen und Irregularitäten bei der Herzarbeit. Bei 27° C Körpertemperatur tritt der Kältetod durch Kammerflimmern ein.

Bei der thermoregulatorischen Beeinflussung der Durchblutung unterscheiden HENSEL et al. (1973) drei funktionell verschiedenartige Regionen: Erstens als Hauptstellglied der Thermoregulation die Akren (Fuß, Hand, Lippen, Nase, Ohren), bei denen die Durchblutung der

Arteriolen über noradrenerge sympathische Nerven geregelt wird. Ebenso wie bei den arteriovenösen Anastomosen führt die Ausschaltung des Sympathikus zu einer nahezu maximalen Dilatation. Am Rumpf und den proximalen Extremitäten - dem zweiten Abschnitt - wird mit dem Schweiß das gefäßerweiternde Bradykinin abgesondert. Die ermöglichte Vasodilatation bei Hitzebelastung ist weit größer als die nach Sympathikusausschaltung. Die dritte Region bildet der Kopf mit Ausnahme der Akren, speziell die Stirn. Hier zeigen vasomotorische Nerven kaum Einfluß, so daß bei einer Kältebelastung keine Vasokonstriktion auftritt. Vielmehr führt Wärme über die allgemein cholinergen sympathischen Nervenfasern zur Schweißsekretion und zugleich zur Gefäßerweiterung (zitiert in SCHMIDT und THEWS 1985).

Neben der nervalen Kontrolle reagieren die Blutgefäße der Haut auch unmittelbar auf Temperaturänderungen. Die von LEWIS beschriebene Kältevasodilatation ist ein Beispiel dafür. Bei starker Kälteeinwirkung kommt es zunächst durch maximale Gefäßverengung zur Blässe und Kälte der Akren, die schmerzhaft sein kann. Nach einiger Zeit werden die Akren durch plötzlichen Bluteinstrom gerötet und warm. Dieser Vorgang wiederholt sich bei fortbestehender Kälteeinwirkung periodisch (LEWIS 1930).

Die genannten Mechanismen der Gefäßregulation entsprechend den thermischen Erfordernissen, also der **Vasomotorik**, sichern die Konstanz der Körperkerntemperatur. Nach den physikalischen Gesetzen der Wärmeströmung müssen die oberflächennahen Teile des Körpers eine niedrigere Temperatur haben als die zentralen, da die im Organismus produzierte Wärme bei ausgeglichener Wärmebilanz über die Körperoberfläche zur Umgebung abströmt (BRÜCK 1985).

Gemäß der unregelmäßigen geometrischen Gestaltung des Körpers ergibt sich ein Temperaturfeld mit einem homöothermen Körperkern und einer poikilothermen Körperschale. Das Temperaturfeld ändert sich mit der Umgebungstemperatur (ASCHOFF 1958). Diese Einstellung des Temperaturfeldes wird vornehmlich durch *Durchblutungsänderungen der Haut* vermittelt. Beispielsweise kann eine starke Kältevasokonstriktion fast die Unterbrechung des Blutstroms bedeuten. Bei kühler Umgebungstemperatur beträgt der Blutstrom etwa *200 ml / min*, während er in warmer Umgebung bis auf *3 l / min* gesteigert wird! Gleichzeitig kommt damit die große Spielbreite des peripheren Kreislaufwiderstandes zur Einstellung des Blutdrucks zum Ausdruck (SCHNIZER et al. 1985).

Abgesehen von der Vasomotorik steht die Wirksamkeit mikrozirkulatorischer Regulation in Abhängigkeit zum Kehrwert der Viskosität, der Fluidität. Diese Fließeigenschaften werden neben der Verformbarkeit der Erythrozyten und der Herzfunktion entscheidend bestimmt durch die spontane arterielle **Vasomotion**: Schon 1852 wurden von JONES am Fledermausflügel erstmals in-vivo-Untersuchungen der Mikrozirkulation durchgeführt. SCHIFF beschrieb 1854 bei Gefäßuntersuchungen am Ohr wacher Kaninchen, daß sich arterielle rhythmische Kontraktionen und Erschlaffungen in Form peristaltischer Wellen ausbreiten. Er verglich die Arterien mit einem „akzessorischen Herzen“, deren Pumpmechanismus die Herzaktion unterstützt. Diese arterielle Vasomotion manifestiert sich im Kapillargebiet nach INTAGLIETTA (1989) als „Flow motion“ und „Flux motion“. Das Netzwerk der terminalen Gefäße unterliegt periodischen Änderungen des Blutflusses. Dabei folgen auf Intervalle mit hohem Blutfluß- und Hämatokritwerten Perioden, während derer diese beiden hämodynamischen Größen vermindert sind.

Der *Ausgangspunkt für die periodischen Kontraktionen im Bereich der terminalen Strombahn* sind nach Untersuchungen von COLANTUONI et al. (1990) die Bifurkationen der Gefäße, die einer Schrittmacherfunktion entsprechen. Die Kontraktions- und Relaxationswellen pflanzen sich entlang der Mikrogefäße fort. Die Vasomotion soll auch bei Zuständen gestörter Homöostase aktiviert werden. Ihr charakteristisches Muster, in Abhängigkeit vom Kaliber der Mikrogefäße, liefert Informationen darüber, auf welchem Niveau die Mikrozirkulation gestört ist (INTAGLIETTA 1989). Dies ist allerdings nicht Thema der vorliegenden Untersuchung.

Es wurde schon erwähnt, daß die Thermoregulation *ein phylogenetisch alter Mechanismus ist, der von den vegetativen Regelkreisen in der zentralnervösen Hierarchie am höchsten steht* (CORDES 1972, BARTSCH 1973). Demzufolge wird durch Anpassung thermoregulativer Vorgänge auch die Leistungsfähigkeit des Kreislaufs sehr beeinflusst. Die Eigenschaften des Zeitverhaltens entsprechen wegen der Schwingungsfähigkeit der Regelkreise unterschiedlichen Eigenfrequenzen, so daß der hierarchischen Anordnung der Funktionskreise ein ganzes Spektrum rhythmisch-oszillierender Funktionen zugeordnet ist, deren Periodendauer mit den höheren Integrationsstufen zunimmt (HILDEBRANDT et al. 1998).

Die vegetativ-autonomen Funktionskreise werden nicht nur nach Reizbelastung und Störung des Ruhegleichgewichtes tätig, sondern sind größtenteils bereits spontan in Form selbsterregter rhythmischer Schwankungen bereits aktiv. Die dabei mehr oder weniger streng eingehaltenen

Periodendauern verteilen sich über ein breites Spektrum, das von Bruchteilen einer Sekunde bis zur Größenordnung von Jahren reicht (HILDEBRANDT 1955, ASCHOFF 1958, HALBERG 1969, RENSING 1973 u. a.). Das Spektrum der rhythmischen Funktionen des Menschen ist, der Struktur des autonomen Systems entsprechend, hierarchisch gegliedert. Die rhythmischen Vorgänge werden mit zunehmender Periodendauer immer umfassender und integrieren immer mehr Teilfunktionen zu gemeinsamen rhythmischen Aktionen. Dem zunehmenden Zeitbedarf für die Antworten der höheren Integrationsstufen entspricht eine längerwellige Spontanrhythmik. Lediglich die nervalen Aktionsrhythmen, die als Informationsträger dienen, erscheinen als eine besondere Funktionsebene im Spektrum.

Nach Meinung von ROHEN (1971) stellt die periphere Autonomie die unterste Stufe der hierarchischen Organisation des autonomen Systems dar. Hier sind zunächst nur lokale Reaktionen möglich, die überwiegend trophisch-nutritive Funktionen erfüllen (z.B. Axonreflexe). Die funktionelle Bedeutung dieser Mechanismen ist trotz der Überlagerung durch höhere nervale und humorale Steuerungen sehr groß. Dies belegt auch die Prävalenz der lokal-chemischen Durchblutungsregelung gegenüber allen anderen Steuerungsfaktoren der Gefäßweite (REIN 1941, GOLENHOFEN 1962).

Die o. g. Vasomotorik ist neben Pilomotorik und Schweißsekretion der nächsthöheren, der spino-segmentalen Integrationsstufe zuzuordnen. Sie schließt bereits konsensuelle Beteiligungen sowie intersegmentale und kutaneoviszzerale Koordinationen mit ein, jedoch funktionieren diese spinalen Mechanismen außerhalb des Einflusses höherer Regionen mehr akut für den lokalen Bedarf. Allerdings lassen sich nach INGRAM (1960) Projektionen der spinalen Reflexkreise bis zum zerebralen Kortex nachweisen.

Wenngleich die Ansichten der verschiedenen Autoren unterschiedliche Erklärungsmodelle hinsichtlich der Thermoregulation erkennen lassen, ist deren Stellung als Bestandteil bereits der unteren Integrationsstufen innerhalb der hierarchischen Organisation des autonomen Systems unbestritten. Wie dagegen die Regelkreise des Wärmehaushaltes durch Reize beeinflusst werden können, um damit die im Kapitel 1 definierte *Abhärtung* herbeizuführen, geht aus der Literatur nur fragmentarisch hervor.

## 2.2. Zum Stand der Auswertung von Abhärtungsmaßnahmen

Der Abhärtungsbegriff wird in der Literatur vor allem deshalb kontrovers diskutiert, weil die *isolierte Einwirkung einzelner Stressoren* im Experiment an sich nicht den natürlichen Gegebenheiten entspricht. Aber auch dem näher kommende Versuchsbedingungen mit weniger intensiven Stressoren könnten nur die Ausbildung einer größeren Anzahl *spezifischer* Adaptate fördern, also spezifischer Phänomene funktioneller oder morphologischer Natur, die sich nach längerer oder wiederholter Einwirkung eines Stressors einstellen (ADOLPH 1956). Eine ausreichende Begründung für die *unspezifische* Resistenzsteigerung gegenüber verschiedenen Reizen wäre dies jedoch nicht (BRÜCK 1964).

Daher sind für das Abhärtungsproblem von größerem Interesse die **unspezifischen** Reaktionen, die nach Einwirkung eines beliebigen Stressors *gleichförmig* verlaufen! In seiner Lehre vom allgemeinen Adaptionssyndrom formuliert SELYE, daß die akute Einwirkung von *verschiedenartigsten* Stressoren in den Organsystemen ein phasenhaftes Reaktionsmuster hervorrufen kann. Zunächst bedeutet eine erste Alarmreaktion die hochgradige Störung der Homöostase, worauf dann die Phase der Gegenregulation folgt. Der Ablauf stellt einen "systemic stress" dar (SELYE 1953). Nach PFANNENSTIEL (1964) erzeugt die Anwendung *eines* stärkeren thermischen Reizes zunächst immer Gegenregulationen, die mehr oder weniger rasch zur Norm "zurückpendeln" und deshalb kaum wesentlich abhärtend wirken dürften. Weit nachhaltiger wäre ein *Wechsel* zwischen kräftigen Wärme- und Kältereizen, wie z. B. bei Wechselbädern oder der Sauna. Hier sei der Organismus gezwungen, rasch und wiederholt auf zwei entgegengesetzte physikalische Reize zu reagieren, und auch unphysiologische Dauerzustände könnten rückgängig gemacht werden.

PFLEIDERER (1964) spricht sich gegen die gängige Meinung bezüglich des Wesens der Abhärtung aus, derzufolge die Wärmeregulation durch zivilisationsbedingte Verweichlichung verkümmert: So habe beispielsweise der *sehr infektanfällige neurovegetative Dystoniker alles andere als ein inaktives Neurovegetativum*. Vielmehr zeigten Hauttemperatur und Energieumsatz im Vergleich von abgehärteten und nicht abgehärteten Versuchspersonen wenig charakteristische Veränderungen im Gegensatz zur Umstellung der Perspiration, also der Hautatmung. Während der "Verweichlichung" bestehe offenbar eine Luxusperspiration unter kühlen Bedingungen als Zeichen einer *unkoordinierten neurovegetativen Erregung*. Während der Abhärtungsphase ginge

*diese Übererregbarkeit zurück!* Diese Verbesserung der Wärmeregulation sei nicht aktiv, sondern durch die Vermeidung einer aktiven Störung erreicht. In Hinblick auf Behandlungsmechanismen der physikalischen Medizin ist die Schlußfolgerung PFLEIDERERS interessant, die Nichtinanspruchnahme neurovegetativer Funktionen im Dienste der Wärmeregulation würde nicht zur Dämpfung, sondern zur Übererregbarkeit führen!

Nach SLONIM (1963) und YOSHIMURA (1964) ist die Kältegewöhnung als ein phasenhaftes Geschehen aufzufassen. In der *Anfangsphase* besteht eine erhöhte Erregbarkeit der Thermoregulationszentren, die sich in einer verstärkten peripheren Vasokonstriktion auf applizierte Kaltreize zeigten. Nach *längerer* Abhärtung läßt diese verstärkte Reaktion allmählich nach, und der Organismus reagiert mit dem geringsten Aufwand auf den Kaltreiz.

In diesem fortgeschrittenen Stadium der Kälteanpassung werden auch *strukturelle* Veränderungen wie die Zunahme der arteriovenösen Anastomosen beschrieben: Nach NELMS (1963) gewinnt der kälteadaptierte Organismus durch Vermehrung der parallel verlaufenden arteriellen und venösen Strombahnen in der Peripherie einen wichtigen Schutzmechanismus vor zu großen Wärmeverlusten. Da das vom distalen Ende zurückströmende Blut beträchtlich kälter ist, entsteht ein "transversales Temperaturgefälle zwischen Venen und Arterien, so daß beträchtliche Wärmemengen vom arteriellen zum venösen Schenkel fließen, ohne die Peripherie zu erreichen". Dieser Gegenstromwärmeaustausch ist nach ASCHOFF (1958) umso wirksamer, je tiefer die Umgebungstemperatur liegt und je langsamer das Blut fließt.

Am Beispiel des Saunabadens als intensiver thermischer Einwirkung auf den Organismus beschrieb CONRADI (1985) die Therapiewirkungen in der Physiotherapie als Teilergebnis eines langfristigen Adaptationsprozesses. Neben einer Tonusänderung der vegetativen Steuerung des Herzens sowie einer bleibenden Blutdrucksenkung konnte eine Verbesserung der peripheren Zirkulation nachgewiesen werden. Die aufgetretene Abschwächung des Sympathikotonus und die Anhebung der Vaguswirkung wurden als *unspezifische* Modifikationen gewertet, während die Optimierung der peripheren Zirkulation eine *spezifische* Antwort des Organismus darstellen würde, da sie in den Prozess der Thermoregulation einzuordnen sei.

KELLETER führte 1968 Studien zur Kälteanpassung bei Kurgästen und Winterschwimmern durch. Der Klimareiz einer Seekur wird als geeignetes Mittel zum Training des peripheren Kreislauf interpretiert, da durch systematisch dosierte Reizanwendung das Kreislaufsystem seine

Überregbarkeit und Labilität verliert. Nach der Kur rufe ein lokaler Kaltreiz eine verstärkte periphere Vasokonstriktion hervor sowie eine schwächere Reaktion von Kreislaufgrößen wie Pulsfrequenz, Blutdruck und Herzminutenvolumen. Dagegen wären die Winterschwimmer über diese erste Phase der Akklimatisation hinaus. Sie zeigten nur noch minimale vasomotorische Reaktionen, was durch die Vermutung eines Spezialisierungsvorgangs mit funktionellen und morphologischen Veränderungen erklärt wird (KELLETER 1968).

Bei der Beobachtung an Winterschwimmern stellt FRANKE (1973) fest, daß thermoregulatorisch sinnvolle Reaktionen, wie z. B. die periphere Vasokonstriktion, mit zunehmender Abhärtung kräftiger werden. Dies würde einer Ökonomisierung gleichkommen, wenn dabei gleichzeitig andere Reaktionsmechanismen - wie zum Beispiel ein plötzlicher Blutdruckanstieg - im Verlauf der Abhärtung entfielen.

Ein aussagekräftiges Verfahren zur Beurteilung der peripheren Zirkulation ist die akrale Wiedererwärmungsreaktion. Nach HOFFMANN (1978) erfährt der Tagesgang der akralen Wiedererwärmung durch eine Saunaserie eine qualitative und quantitative Veränderung. Die Parameter der Reaktionszeiten nehmen ab, wogegen die der Reaktionsgeschwindigkeiten mit der Behandlung ansteigen. Es konnte gezeigt werden, dass eine zehnwöchige Saunaserie mit einer Anwendung pro Woche den Organismus zu adaptiven Leistungen veranlaßt. Die Körperkerntemperatur nimmt ab, während die Akraltemperatur steige. Keine Abhängigkeit der Wiedererwärmungsreaktion bestehe vom Körperbautyp, wogegen sich signifikante Unterschiede bei der Analyse nach verschiedenem Gewichtsindex und nach subjektiven Wärmehaushaltsstörungen ergäben.

CONRADI (1980) prüfte bei 40 Probanden die akrale Wiedererwärmung als ein Maß zur Bestimmung der Funktion des *peripheren* Kreislaufs im Verlauf einer Saunaserie. Es ergab sich eine signifikante Zunahme der akralen Hauttemperatur sowie der Temperaturänderungsgeschwindigkeit. Für die periphere Vasomotorik konnte aus der Analyse der Temperaturzeitkurven der akralen Wiedererwärmung eine veränderte Reaktionsweise abgeleitet werden: Das Saunabaden trage dazu bei, daß lokale Kältereize frühzeitiger und schneller beantwortet würden. In einer Langzeitstudie regelmäßigen Saunabadens einer Kindergruppe unterscheidet EISERMANN (1985) zwischen der Immediatwirkung des Saunabades und dem Prozess der Anpassung bei wiederholtem Saunabesuch. Im Vordergrund steht auch hier die Optimierung der peripheren Zirkulation. Im Verlauf der Beobachtungen über

7 Monate regelmäßigen Saunabadens zeigten sich beachtliche Veränderungen der akralen Hautdurchblutung. Die Reagibilität der Arteriolen an den Akren nimmt unter der Saunareizserie um fast das Doppelte zu.

LINDNER untersuchte 1990 die akrale Wiedererwärmungsreaktion von gewohnheitsmäßigen Kaltduschern, Saunagängern und Kontrollpersonen auf einen kalten Fußguß von 15° C über 90 Sekunden. An dessen Ende liegt die Hauttemperatur in der Gruppe der Saunagänger bei 22,6° C, in der Gruppe der Kaltduscher sowie in der Kontrollgruppe bei 22,3° C. Die Wiedererwärmung verläuft innerhalb der ersten 4 bis 5 Minuten mit unterschiedlicher Steilheit (Saunagänger < Kaltduscher < Kontrollgruppe), danach mit ähnlicher Steilheit. Über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg erfolgt die akrale Wiedererwärmung mit durchschnittlich 0,8° C pro Minute. Zehn Minuten nach Gußende ist die Hauttemperatur in allen drei Gruppen gegenüber der eigenen gruppenspezifischen Ausgangstemperatur noch signifikant erniedrigt. Die schnellere Wiedererwärmung während der ersten fünf Minuten bei Saunagängern und Kaltduschern wird als Trainingseffekt gedeutet, wobei Ausgangslage und Reizantwort bei den Saunagängern thermophysiologisch günstiger sind, obwohl sie nur ein- bis zweimal pro Woche dem Reiz unterzogen werden, die Kaltduscher dagegen täglich (LINDNER 1990).

Neben dem vielfach diskutierten wechselwarmen Reiz der Sauna führt erfahrungsgemäß auch die wiederholte Kälteexposition, speziell der Akren, ebenfalls zu Anpassungserscheinungen der akralen Durchblutungsregulation. Man führte an „Eisbadesportlern“ Messungen der akralen Temperatur durch und zeigte, daß ein *signifikanter Zusammenhang besteht zwischen Temperaturdifferenz der vor und nach dem Eisbad ermittelten Temperaturen einerseits und Dauer, seit der Sport betrieben wird, andererseits*. Sportler, die länger als fünf Jahre das Winterschwimmen betreiben, weisen 30 Minuten nach dem Bad stets höhere akrale Temperaturen als vor dem Eisbad auf! Mit Hilfe des Tests der akrale Wiedererwärmung konnte weiter nachgewiesen werden, daß die Kälteanpassung von Winterschwimmern verbunden ist mit einer *verzögerten* akralen Wiedererwärmungsreaktion unter warmen Umgebungsbedingungen *im Frühjahr*, während das *Optimum dieser Anpassung sich unter den Kältebedingungen des Winters zeigt* (BRENKE und BRENKE 1991).

Es gibt also vielfältige Untersuchungen, wie sich abhärtende Maßnahmen auf die *Vasomotorik* auswirken, speziell auch im Bereich der Mikrozirkulation. Die für deren Fließbedingungen wichtige *Vasomotion* kann bislang hingegen im Zusammenhang mit dem Begriff der Abhärtung



noch nicht klar eingeordnet werden. Die Differenzierung von Vasomotorik und Vasomotion nehmen SCHNIZER et al. vor. In einer Studie zu Wirkungsmechanismen von Kohlensäurebädern vermuten sie, daß sich dabei *zwei Wirkkomponenten realisieren: Einmal eine Steigerung der mikrozirkulatorischen Gesamtströmung und zum anderen eine Aktivierung der Vasomotion*. Beide Vorgänge scheinen unabhängig voneinander beeinflußt und angestoßen werden zu können (SCHNIZER et al. 1985).

Die Vasomotion bringt LINDNER in Zusammenhang mit der Abhärtung. Im Vergleich zu nicht abgehärteten Personen wurde als Trend eine größere Flexibilität des Tonisations- und Relaxationsspieles der Gefäße sowohl bei gewohnheitsmäßigen Kaltduschern als auch bei Saunagängern beobachtet. Meßstellen waren der Rumpf an der rechten Medioklavikularlinie, der Mittelfinger, das Hypothenar und die Nasenscheidewand. Die Versuchspersonen der Kontrollgruppe zeigten generell eine verzögerte Dilatation während und nach thermischen Reizen in Form von jeweils warmen und kalten Fuß- sowie Schenkelgüssen (LINDNER 1990). Eine andere Arbeitsgruppe untersuchte konsensuelle Gefäßreaktionen bei einem kalten Fußbad zur Überprüfung der Wirksamkeit einer Kneippkur. Die Messungen ergaben die deutliche Zunahme der Vasomotionsamplitude im Verlauf der Kühlung bei 33 % der Registrierungen an der Handinnenfläche, während an der Nasenschleimhaut die Amplitude nur in 9 % anstieg. Die Änderungen der Vasomotionsamplitude werden *nicht* über Temperaturveränderungen erklärt, sondern es könne sich dabei um einen *Sympathikuseinfluß* handeln (FENDT 1990).

Insgesamt sind die wenigen Arbeiten über Vasomotion in Hinblick auf den Abhärtungskomplex sehr interpretationsbedürftig. Im schon erwähnten Konzept von SELYE wurde der "systemic stress" im Zusammenhang mit Adaptationsmechanismen genannt. Das Adaptationssyndrom verläuft in den Stadien Alarmreaktion, Erschöpfung und Resistenz. Nach CLASSEN (1976) muß das Stadium der Resistenz, in dem die Widerstandsfähigkeit gegenüber Streß allgemein angehoben ist, durch *dauerndes Training* gehalten werden.

In Auswertung der Literatur hat sich gezeigt, daß dieser systemic stress *unspezifisch* abgeschwächt werden kann durch die Einwirkung von unterschiedlichen Stressoren. Wenn für die Mikrozirkulation entscheidende „Stressparameter“ gleichermaßen durch die Gewöhnung sowohl an wechselwarme Reize als auch an Kaltreize in ihrem Reaktionsumfang über die Zeitachse abgeschwächt würden, wäre eine Form von Abhärtung bewiesen.

### 3. Aufgabenstellung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Nachweis der Abhärtung, der „allgemeinen Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten“. Einer der wesentlichsten Effekte bei der Abhärtung durch thermische Reize ist erwartungsgemäß die Beeinflussung der akralen Durchblutungsregulation.

Daher sind an den Akren und insbesondere den akralen Schleimhäuten entscheidende Parameter wie Vasomotorik, Vasomotion und akrale Temperaturänderung bzw. Wiedererwärmung nach thermischen Reizen zu untersuchen. Diese Größen *unspezifisch* gleichermaßen in Richtung einer Abhärtung zu beeinflussen hieße, ähnliche Reaktionsmuster dieser Parameter beispielsweise durch Gewöhnung sowohl an massive Kaltreize als auch an Kalt-Warm-Reize hervorzurufen.

Der Nachweis solcher *unspezifischer Modifikationen durch verschiedene physikalische Abhärtungsmaßnahmen, die gewohnheitsmäßig durchgeführt werden*, steht im Mittelpunkt des Interesses. Es bieten sich dafür zwei Extremformen der Hydrotherapie an: erstens die Gewöhnung an die wechselwarmen Reize der Sauna, zum anderen an den intensiven Kaltreiz beim Winterschwimmen.

## **4. Methodik**

### **4.1. Probanden**

Zur Objektivierung der Auswirkungen einer Abhärtung durch wechselwarme Reize oder Kaltreize interessieren die akralen mikrozirkulatorischen und thermoregulatorischen Reaktionen verschiedener Personengruppen. Da für die Aufgabenstellung insbesondere der Langzeiteffekt von Bedeutung ist, wurden längerfristige Umstellungen bei angepaßten (Saunagänger sowie Winterschwimmer) und nichtangepaßten Probanden (gesunde Kontrollpersonen) erfaßt. Zur Beantwortung der gestellten Fragen führten wir an 45 Probanden insgesamt 180 Versuche durch.

Dabei gehörten zu den drei Gruppen der Saunagänger, Winterschwimmer und Kontrollpersonen jeweils 15 Personen. Bei keiner der Versuchspersonen war ein berufsbedingter Kontakt mit kaltem Wasser, der zur Abhärtung hätte führen können, eruierbar. Die ausgewählten Probanden durften keine der folgenden Ausschlußkriterien erfüllen: Vorerkrankungen mit vaskulärer Beteiligung wie Diabetes mellitus, essentielle Hypertonie oder Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, Nikotinabusus sowie die Einnahme vasoaktiver Pharmaka. Die Personengruppen setzten sich zu etwa 50 % jeweils aus Frauen und Männern zusammen.

In die Gruppe der gewohnheitsmäßigen Saunagänger wurden nur Personen aufgenommen, die regelmäßig seit mindestens drei Jahren einmal wöchentlich oder öfter die Sauna besuchten. Die untersuchten Probanden der Saunagruppe wiesen ein Durchschnittsalter von 51,1 Jahren bei einer Standardabweichung von 13,6 Jahren auf.

Bei den Winterschwimmern wurde die wöchentliche regelmäßige Teilnahme am Eisbaden während der Monate September bis Mai über mindestens 5 Jahre vorausgesetzt. Das Durchschnittsalter der untersuchten Winterschwimmer betrug 45,4 Jahre bei einer Standardabweichung von 8,4 Jahren.

Bei der Auswahl der Kontrollpersonen erschien uns neben den genannten allgemeinen Kriterien wichtig, daß anamnestisch jede Form regelmäßig angewandter Hydrotherapie ausgeschlossen wurde, wie zum Beispiel morgendliches Kaltduschen. Einer - vom Eisbaden abgesehen - regelmäßigen sportlichen Betätigung gingen die meisten Winterschwimmer nicht nach. Bei einem Durchschnittsalter von 33,3 Jahren lag hier die Standardabweichung bei 9,0 Jahren.

## 4.2. Charakterisierung der Abhärtingsmaßnahmen

Das Eisbaden oder Winterschwimmen als Modell für eine intensive Kälteanwendung erfolgt von September bis Mai mindestens einmal pro Woche zu festgelegten Tageszeiten, meist um 10 Uhr. Bei länger anhaltendem Frost wird ein Loch in die Eisdecke geschlagen. Die Sportler absolvieren zunächst einen kurzen Erwärmungslauf von fünf- bis zehnminütiger Dauer in leichter Sportbekleidung, alternativ Gymnastik oder Ballspiele.

Unmittelbar nach den Erwärmungsmaßnahmen und dem Umkleiden gehen die Winterschwimmer in üblicher Badebekleidung in das Eiswasser und schwimmen je nach Möglichkeit eine kurze Strecke. Die Wassertemperatur beträgt bis zu  $-1^{\circ}\text{C}$  (Ostsee), die Wassertiefe erlaubt meist das Stehen. Die Aufenthaltsdauer im Wasser richtet sich nach der individuellen Verträglichkeit und liegt zwischen Sekunden und etwa fünf Minuten.

Nach dem Bad frottieren sich die Sportler ab und kleiden sich um, teilweise wird zur Wiedererwärmung gelaufen. Nach BRENKE, CONRADI und WARNKE (1986) wird von einer vorübergehend gestörten Koordination der Feinmotorik berichtet, oftmals hält das Kältezittern der Extremitäten- und Rumpfmuskeln noch stundenlang nach dem Eisbad an.

Dagegen ist die finnische Sauna ein Heißluftbad mit zwischengeschalteten Kaltreizen: Ein bis drei im Durchschnitt zehnminütige Aufenthalte im Heißluftbad wechseln sich ab mit kalten Güssen, kaltem Duschen oder einem kalten Tauchbad.

Dabei beträgt die Temperatur im Heißluftraum am Boden  $40^{\circ}\text{C}$  und unter der Decke  $100^{\circ}\text{C}$ . Die meisten Saunagänger benutzen die mittlere von drei Sitzbänken in verschiedener Höhe und zur Abkühlung eine kalte Brause oder das mit Leitungswasser gefüllte Tauchbecken von  $10$  bis  $14^{\circ}\text{C}$ .

### 4.3. Untersuchungsmethoden

#### 4.3.1. Lokale und konsensuelle Vasomotorik und Vasomotion

Entsprechend der Aufgabenstellung war bei der Methodenauswahl ausschlaggebend, möglichst einfache und korrekte Messungen zu erzielen.

Untersuchungsmethoden wie die Plethysmographie, Rheographie, Ultraschall-Doppler oder akrale Oszillographie ermöglichen keine getrennte Betrachtung von Haut- und Muskeldurchblutung, zum Teil keine Erfassung der kleinen Gefäße und keine Darstellung der Vasomotion. Dagegen hätte die Applikation von radioaktiven Substanzen wie bei der Xenon<sup>133</sup>-Muskelclearance einen unvermeidbar hohen Aufwand erfordert. Zudem ist die Methode belastender für den Probanden.

Wir entschieden uns zur *Darstellung von Vasomotion und Vasomotorik für die Laser-Doppler-Flowmetrie*, die in den letzten Jahren verstärkt für Messungen der Hautdurchblutung Verwendung findet. Zum Einsatz kam dabei das Modell "Periflux" der Firma Perimed, Stockholm. Es verfügt über einen Helium-Neon-Laser mit 2 mW Leistung. Der Meßbereich umfaßt eine Gewebstiefe von etwa 1 mm und erreicht damit neben dem papillären Kapillarnetz der Haut auch die unmittelbar darunterliegenden Gefäße.

Das dieser Arbeitsweise zugrundeliegende Prinzip nutzt das physikalische Phänomen des Doppler - Effektes bei der Frequenzverschiebung von monochromatischem Laserlicht an den Blutzellen, die sich im Gefäßsystem bewegen. Für die Zu- und Rückleitung des Lichts wird hierbei ein faseroptisches System verwendet, wobei nach der Umsetzung von reflektierten Lichtanteilen im sogenannten Fotomultiplier das Ausgangssignal durch spektralanalytische Verarbeitung entsteht.

Diese in Volt gemessene Größe wird mittels Linienschreiber aufgezeichnet. Für die Aussagekraft des Verfahrens ist es hier unbedeutend, daß anstelle einer Zeitvolumenregistrierung des Blutstroms vielmehr eine *Geschwindigkeitsmessung der strömenden Partikel* vorgenommen wird.

1980 wiesen NILSSON und Mitarbeiter die lineare Beziehung von Erythrozytenmenge und deren Geschwindigkeit nach. Nach ERDL und SCHNIZER (1986) verhält sich im Falle der Konstanz des von den Zellen durchströmten Meßareals die Erythrozytenmenge proportional zum Fluß und entspricht damit einer "Quasi-Durchblutungs-Bestimmung".

## Laser Doppler flowmetry

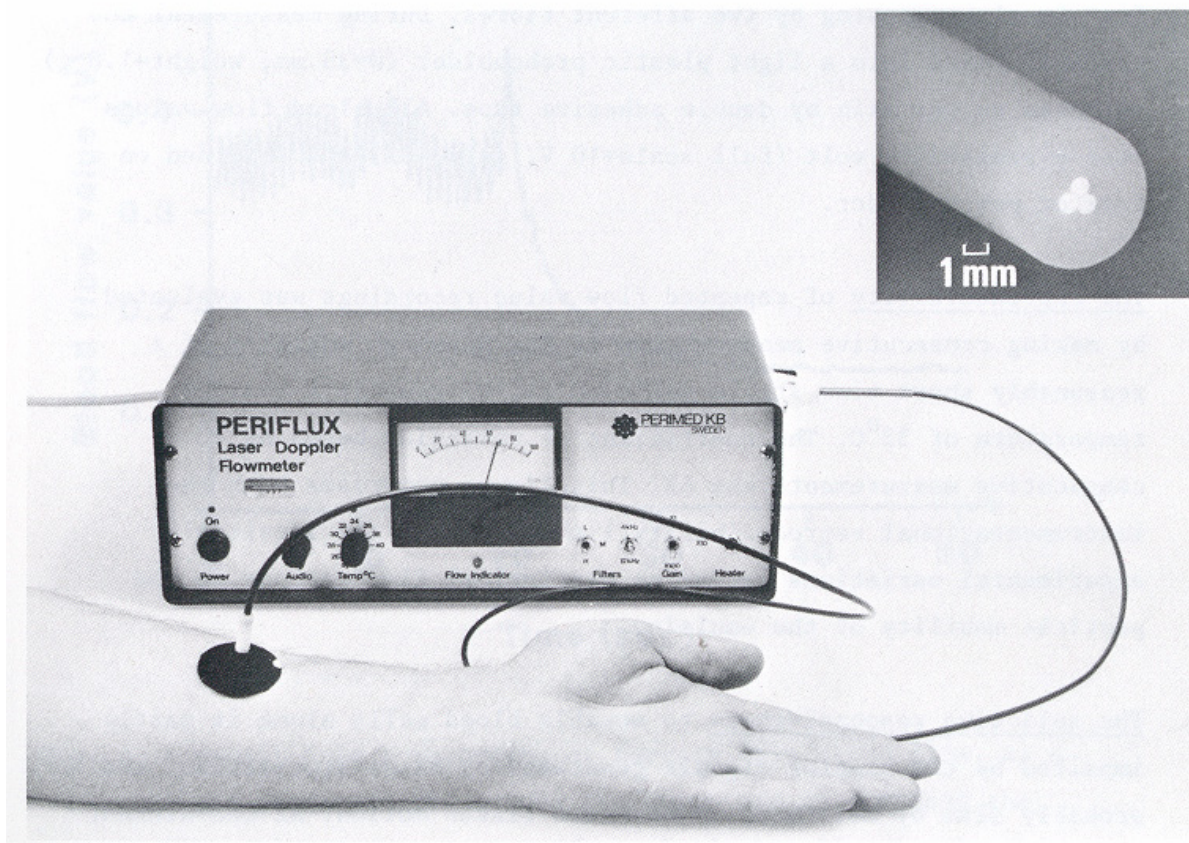


Abbildung 1: Kutane Laser-Doppler-Flußmessung am Unterarm

Die Messung der *lokalen Vasomotorik und Vasomotion* erfolgte am gleichen Meßort, an dem auch der Kaltreiz appliziert wurde. Dafür war 15 Minuten vor Versuchsbeginn der Sondenhalter an der dorsalen Seite des rechten Mittelfingers mittels einem in Abb. 1 sichtbaren Klebering zu befestigen.

Nach Registrierung der Ruhewerte über 5 Minuten wurde der rechte Mittelfinger mit der Lasersonde zusammen mit dem Zeigefinger der gleichen Hand in einen Glasbecher mit Eisschmelzwasser eingetaucht und *langsam* über 60 Sekunden darin bewegt. Anschließend

brachte der Proband die rechte Hand unter kontinuierlicher Registrierung der Durchblutung wieder in die vorherige Stellung.

Beobachtungen zeigten, daß die Atmung dabei *gleichmäßig* bleiben mußte, um Artefakten vorzubeugen. Die Messung erfolgte dabei im allgemeinen 30 Minuten lang. Kriterium der Versuchsbeendigung war die visuell erkennbare Gleichförmigkeit der aufgezeichneten Kurve über mindestens 10 Minuten.

Die *konsensuelle Gefäßreaktion* wurde an Haut und Schleimhaut untersucht. Den Kaltreiz setzten wir mittels eines auf 12° C temperierten Fußbades, und die Messung erfolgte jeweils am Hypothenar sowie an der Nasenschleimhaut in getrennten Versuchen. Auch hier wurde der Sondenhalter 15 Minuten vor Versuchsbeginn mittels Klebering am Hypothenar bzw. durch einen nasalen Pflasterzügel seitlich am Nasenseptum befestigt.

Nach Messung der Ruhewerte tauchte der Proband unter kontinuierlicher Registrierung der Durchblutung *langsam* beide Füße in eine Schüssel mit auf  $12 \pm 0,5^{\circ}$  C temperiertem Wasser. Nach 60 Sekunden nahm er *nacheinander in der gleichen Reihenfolge des Eintauchens langsam* die Füße wieder heraus.

Jetzt wurden die Beine der jeweiligen Versuchsperson vorsichtig - ohne zu reiben - mit Zellstoff abgetupft und anschließend in eine Decke gehüllt, um einer Auskühlung vorzubeugen. Wieder achteten wir auf *langsame Bewegungen im Interesse gleichmäßiger Atmung*. Die Dauer der Registrierung entsprach den Kriterien der bereits genannten lokalen Messung.

### 4.3.2. Die akrale Wiedererwärmungsreaktion

Zur Überprüfung der mit den Laser - Doppler - Untersuchungen erzielten Ergebnisse und zum Vergleich mit älteren Messungen wurde zusätzlich ein Test der akralen Wiedererwärmung durchgeführt.

Die einfache Messung der Hauttemperatur liefert keine ausreichenden Angaben, um den Anpassungseffekt von regelmäßigen wechselwarmen oder Kaltanwendungen zu bewerten. Sie steigt nicht proportional zur Durchblutung der Haut (ASCHOFF 1958) und unterliegt vielen Einflußgrößen. Neben der Durchblutung zählen dazu Nahrungsaufnahme, Energieumsatz, Hautdurchfeuchtung, Schilddrüsenaktivität, Körperfülle und Hautschichtdicke (CORDES 1972).

Um die Nachteile eines statistischen Verfahrens zu umgehen, bietet sich die funktionelle Messung der Wärmeabstrahlung der Haut nach einem standardisierten Kaltreiz an, also die akrale Wiedererwärmung (HEIDELMANN 1952, Modifikation durch MEFFERT et al. 1971 und HOFFMANN 1978).

Im Modellversuch konnte der Nachweis erbracht werden, daß die Infrarotabstrahlung als Parameter der Durchblutungsänderung der Haut folgenden Methoden überlegen ist: Der Hauttemperatur, dem Hautwiderstand, der Wärmeabgabe, der Fluvographie nach HENSEL et al. (1973) sowie der Frequenzleitfähigkeit (EMDEN et al. 1971). Die Laser - Doppler - Flowmetrie eignet sich zur Messung von *Vasomotion* und *Vasomotorik* kutaner papillärer Kapillaren und unmittelbar darunter gelegener Blutgefäße.

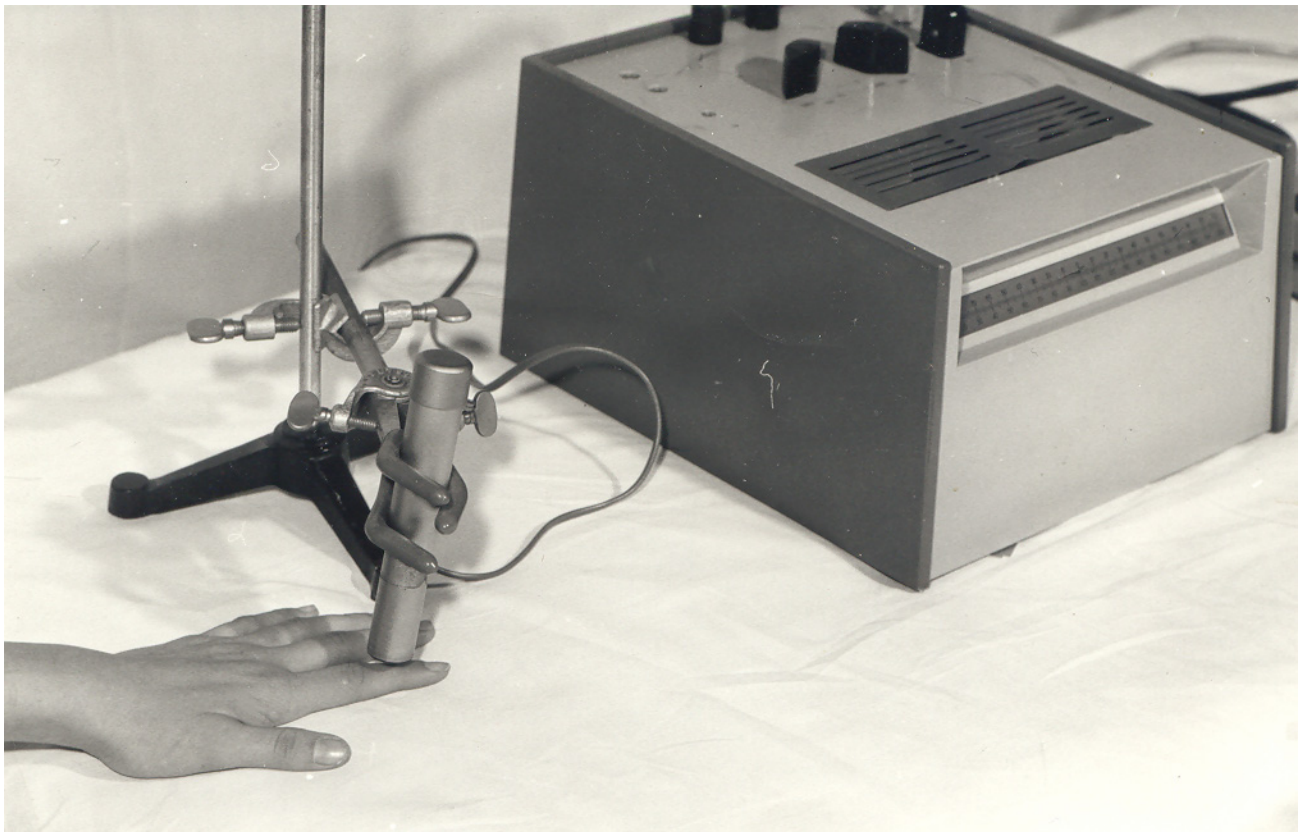
Der Test der akralen Wiedererwärmung zeigt die Durchblutungsregulation als Ausdruck der *Vasomotorik*. Darüber hinaus gibt es bei der Wiedererwärmung keine Artefakte. Das Verfahren zeichnet sich durch die einfache Durchführung und Meßgenauigkeit aus.

Vor unseren Versuchen zur akralen Wiedererwärmung nach standardisiertem Kaltreiz durchliefen die Probanden eine Eingewöhnungsphase von 30 Minuten. In bequemer Sitzposition wurde die rechte Hand auf ein helles Tuch gelegt, wobei der Handrücken nach oben wies und die Finger entspannt und mäßig gespreizt waren.



Die Geräteanordnung bestand aus einer Vakuumthermomeßsäule nach KORTUM (1967), die 5 mm über der Mittelphalanx des Zeigefingers in einen Halter eingespannt und mit dem Digital-Multimeter V 560 verbunden war (in Abb. 2 ist anstelle des V 560 ein Galvanometer sichtbar). Zuerst wurden die Ruhewerte über 5 Minuten aufgezeichnet. Dann führte der Proband seine rechte Hand zu einem Glas mit Eisschmelzwasser (Temperatur zwischen 0 und +1° C), tauchte den abgewinkelten Zeigefinger hinein und bewegte ihn darin langsam über 60 Sekunden.

Anschließend wurde die rechte Hand wieder in die Ausgangsposition und der Zeigefinger somit unter die Vakuumthermomeßsäule gebracht. Die Feuchtigkeit auf dem Finger wurde vorsichtig mit Zellstoff aufgesaugt. Fortan wurde die Wiedererwärmung kontinuierlich gemessen und alle 15 Sekunden (Stoppuhr) registriert. Wenn sich minutenlang keine Änderung mehr nachweisen ließ, wurden die Messungen eingestellt, meist nach einer halben Stunde.



*Abbildung 2: Messung der akralen Wiedererwärmung am Zeigefinger*

#### 4.4. Versuchsbedingungen

Sämtliche Untersuchungen wurden von April bis Juni 1991 jeweils vormittags in der Universitätsklinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation der Charité (Campus Berlin-Mitte) durchgeführt. Die Klinik verfügt über eine etwa 20 m<sup>3</sup> große Klimakammer, in der eine standardisierte Luftfeuchtigkeit von ca. 60 % bei einer Raumtemperatur von 27° C konstant gehalten werden konnte.

Die Probanden wurden angewiesen, eine Stunde vor Versuchsbeginn keiner sportlichen oder sonstigen schweren Tätigkeit nachzugehen. In der Klimakammer entledigten sich die Versuchspersonen ihrer Kleidung und nahmen auf einem Sessel mit Kopfstütze Platz. Sie wurden je nach subjektiver Befindlichkeit mit Decken vor Auskühlung der Beine geschützt.

Derartige Eingewöhnungsphasen von über 30 Minuten durchliefen die Probanden vor jedem Experiment; während derer wurden Anamnese und Status erhoben. Nach dieser ersten halben Stunde wurden die elektronischen Meßgeräte eingeschaltet.

#### 4.5. Statistische Verfahren

Eine Aufgabe der Statistik ist es, umfangreiche Daten zusammenzufassen, um die darin enthaltenen Informationen klar ersichtlich werden zu lassen. Dies bedeutet, daß die Ausgangsdaten - in der vorliegenden Arbeit handelt es sich um mehr als 20000 von Hand ausgemessene durch den Linienschreiber aufgezeichnete Abstände sowie betreffs der akralen Wiedererwärmung um ca. 2500 abgelesene Werte eines Digitalvoltmeters - auf einige wenige Kennzahlen reduziert werden mußten. Zur statistischen Auswertung waren zunächst die Mittelwerte, Standardabweichungen und deren Standardfehler zu berechnen. Nach CAVALLI-SFORZA (1969) sowie KRAUSE und METZLER (1988) müssen zudem Unterschiede mit adäquaten statistischen Methoden getestet werden. Die inhomogene Altersstruktur der Probandengruppen erforderte Verfahren zur Prüfung des Unterschiedes bei *nicht normalverteilten Grundgesamtheiten*.

Zur Prüfung des Mittelwertunterschiedes verwendeten wir entsprechend der vorstehend genannten Literaturquellen den multiplen Rangsummentest nach WILCOXON und WILCOX bzw. den U-Test nach MANN und WHITNEY. Waren die Voraussetzungen erfüllt, wurde das Bestehen eines signifikanten Unterschiedes nachgewiesen oder ausgeschlossen. Stand die Merkmalshäufigkeit in unterschiedlichen Kollektiven im Mittelpunkt, prüften wir mittels  $\chi^2$  - Test das Vorliegen eines signifikanten Unterschiedes. In allen Fällen wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,01$  zugrunde gelegt.

Zur Anwendung kam für die ausgewählten Fragestellungen das Programm "PC-Statistik" für deskriptive und analytische Statistik, uni- und multivariate Verfahren für IBM-kompatible Computer, Version 2,0 der Firma Topsoft, Hannover.

#### **4.6. Auswertung der Vasomotorik und Vasomotion**

Der mit dem Laser - Doppler - Gerät verbundene Linienschreiber war in Ruhe auf die Null-Linie des Registrierpapiers geeicht. Der Papiervorschub betrug 3 cm/min; damit entspricht ein Millimeter Papier einer Zeitdauer von zwei Sekunden. Links neben der Zeitachse sind die ersten sieben Minuten nach Reiz handschriftlich eingetragen. Bei der anschließenden Markierung auf dem Registrierpapier (s. Abb. 3 und 4) wurde nach definierten Kriterien vorgegangen.

Eine Vasomotionswelle bestand demnach aus *zwei zur Null-Linie gerichteten Minima und einem entgegengesetzt gerichteten Maximum*. Der Abstand vom 2. Minimum zur Null-Linie in Millimetern wird als "Durchblutung" bezeichnet. Als "Amplitude" wird die Differenz zwischen dem Maximum und dem 2. Minimum in Millimetern definiert. Dabei werden bei der Minutenregistrierung deszendierende Kurvenabschnitte zur gleichen Minute gezählt und aszendierende zur nächsten. Die "Frequenz" bezieht sich auf die *Anzahl der während einer Minute begonnenen Gefäßkaliberschwankungen und errechnet sich aus dem Reziproken der durchschnittlichen Periodendauer*.

Zur Abgrenzung von Artefakten wurden nur Vasomotionswellen markiert, die eine *Periodendauer* von mindestens 3 mm entsprechend sechs Sekunden sowie eine *Amplitude* von mindestens 3 mm aufwiesen.



Abbildung 3: Messung der konsensuellen Reaktion am Hypothenar bei Applikation eines kalten Fußbades

Durch Ausmessung der markierten Vasomotionswellen von Hand konnten so über 20000 Werte ermittelt werden. Bei den Ruhewerten wurde bezüglich der Durchblutung – also des Abstandes



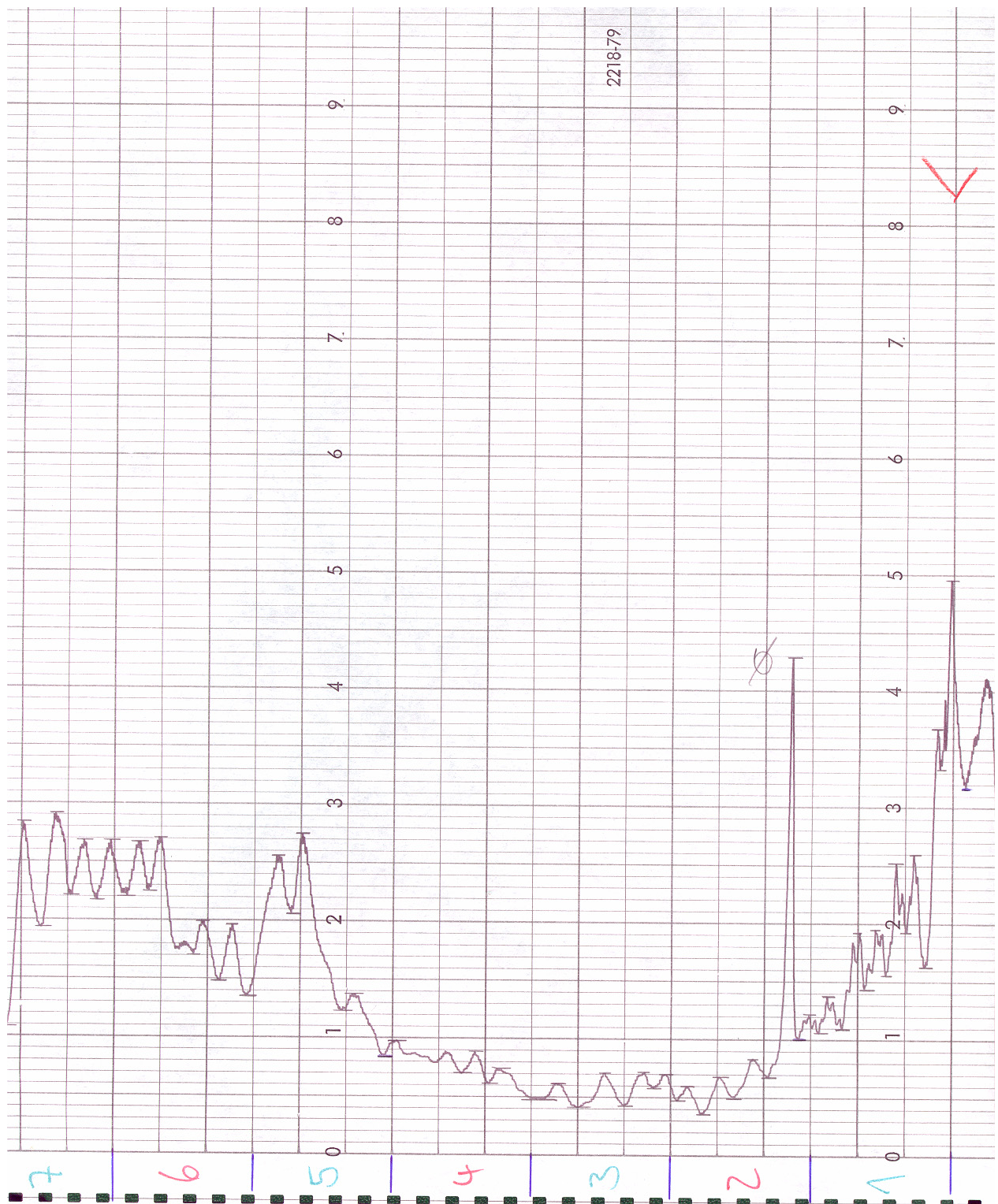


Abbildung 4: Messung der lokalen Reaktion am Mittelfinger bei Applikation eines Eisschmelzwasserbades

zwischen dem 2. Minimum und der Null-Linie – sowie von Amplitude und Frequenz der Durchschnitt aus zehn aufeinanderfolgenden Vasomotionswellen gebildet. Ebenso ermittelten

wir nach dem Reiz den Durchschnitt aus den *innerhalb der jeweiligen Minute* gemessenen Werten. Diese *Mittelwerte* sind ausnahmslos im Tabellenanhang aufgeführt.

Die jeweilige Versuchsserie begann mit der Registrierung der genannten Durchblutungsparameter in Ruhe. Daher werden während „RUHEWERT / 1“ der graphischen Darstellungen (s. Abb. 6 – 32) die Vasomotorik und Vasomotion *vor* dem Kaltreiz registriert; als „KALTREIZ / 2“ der graphischen Darstellungen gilt somit der Kaltreiz selbst, der während der Experimentalphase auf dem Linienschreiber (s. Abb. 3 und 4) unten noch mit „1“ beschriftet war. Die Zahleneinteilung an der Ordinate ist innerhalb einer vergleichenden Betrachtung identisch. Für Niveau und Amplitude gilt die Einheit Millimeter und für die Frequenz 1 / Minute.

#### **4.7. Auswertung der akralen Wiedererwärmungsreaktion**

Die verwendete Vakuumthermomeßsäule nach KORTUM war für die Messung der akralen Wiedererwärmung mit einem Digitalvoltmeter verbunden. Die abzulesenden Werte in Millivolt sind relativ und stellen nicht etwa absolute Temperaturen dar, was für die Aufgabenstellung auch nicht notwendig war. Nach der Vorruhe wurde kontrolliert und notiert, daß sich der Ausgangswert nicht änderte. Nach dem einminütigen Bad im Eisschmelzwasser erfolgte das Ablesen alle 15 Sekunden über zehn Minuten. Danach genügten meist einminütige Messungen, da sich kaum noch Änderungen einstellten. blieb der Wert über fünf Minuten gleich, wurde der Versuch beendet. Die Säulendiagramme stellen die relativen in Millivolt gemessenen Werte der akralen Wiedererwärmungsreaktion für jeweils eine Personengruppe als Durchschnitt dar. Dabei treten also keine Minusgrade auf, sondern das an die Vakuumthermomeßsäule angeschlossene Voltmeter gab hier negative Werte an.

Die mit "TEMPERATUR ZUVOR" bezeichnete Säule bildet den Ruhewert in Millivolt vor dem Eisschmelzwasserbad ab. Die 2. Säule ("EISWASSER") zeigt den unmittelbar nach dem Eisschmelzwasserbad gemessenen minimalen Wert für eine Personengruppe an. Die darauffolgenden Säulen entsprechen den Mittelwerten nach Beendigung des Eisschmelzwasserbades jeweils zur Mitte der jeweiligen Minute.

## 5. Ergebnisse

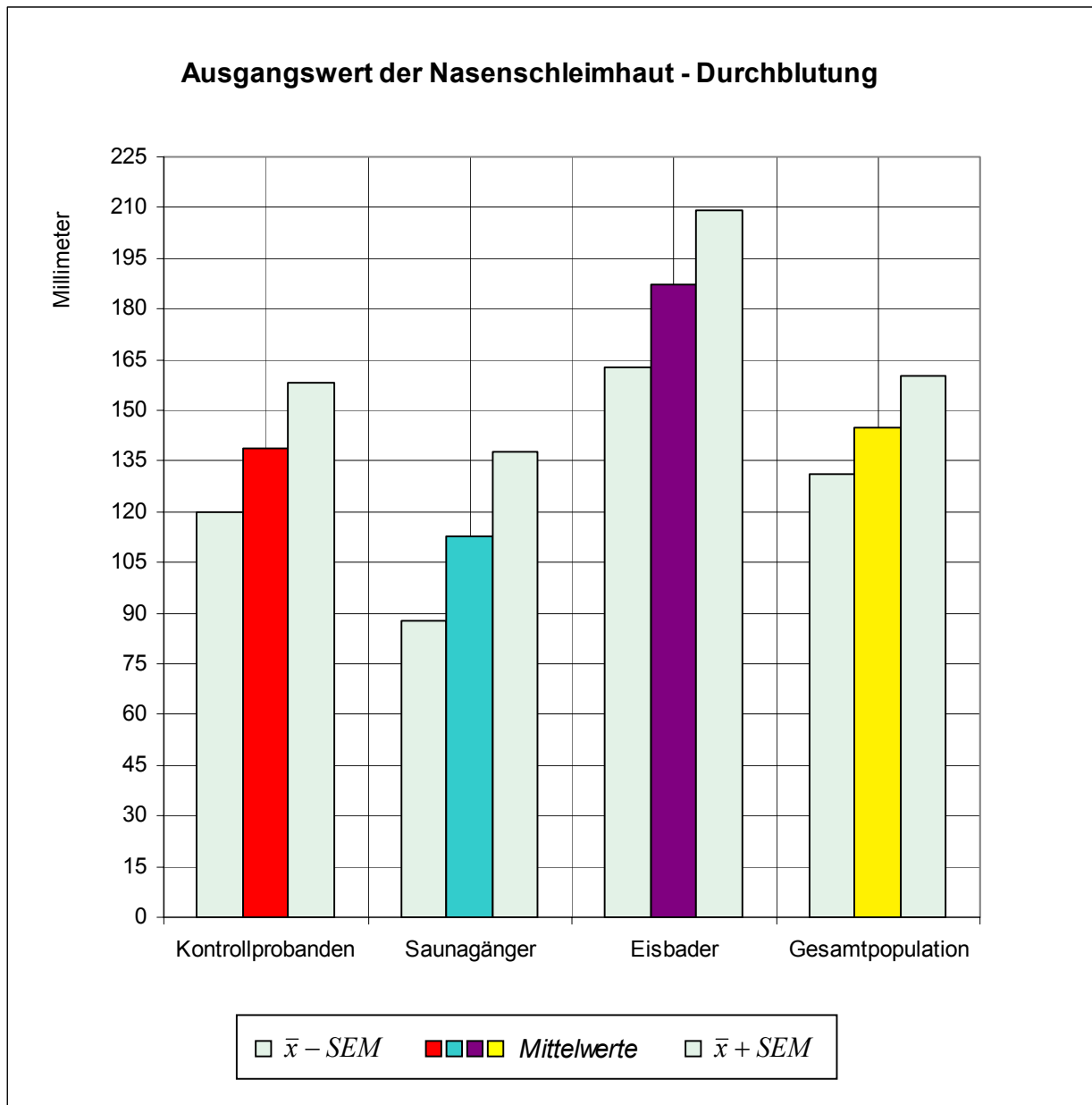


Abbildung 5: Ruhedurchblutung an der Nasenschleimhaut der Eisbader ist signifikant größer als die der Saunagänger. Die Kontrollgruppe – ohne dazu signifikantem Unterschied – liegt dazwischen;  $n = 45$ .

Eine graphische Darstellung der Meßwerte aller Probandengruppen pro Versuchsreihe erfolgte dann, wenn sich mindestens eine signifikante Veränderung nachweisen ließ. Andernfalls – wie im Fall der Vasomotionsfrequenz an der Nasenschleimhaut oder der Vasomotionsamplitude am Hypothenar – beschränkten wir uns auf die verbale Beschreibung der ermittelten Verläufe unter Erwähnung der fehlenden Signifikanz. Die statistisch gesicherten Ergebnisse wurden graphisch, wenn von Interesse, zunächst im Gruppenvergleich für eine Versuchsreihe (s. Abb. 5) und dann für die einzelne Probandengruppe immer in der Reihenfolge Kontrollpersonen - Saunagänger -

Winterschwimmer abgebildet. Alle Diagramme weisen die Mittelwerte sowie deren Standardfehler ( $\bar{x} \pm SEM$ ) aus.

## 5.1. Konsensuelle Reaktion von Vasomotorik und Vasomotion an der Nasenschleimhaut von Kontrollpersonen, Saunagängern und Winterschwimmern auf einen Kaltreiz am Fuß

### 5.1.1. Die Durchblutung an der Nasenschleimhaut

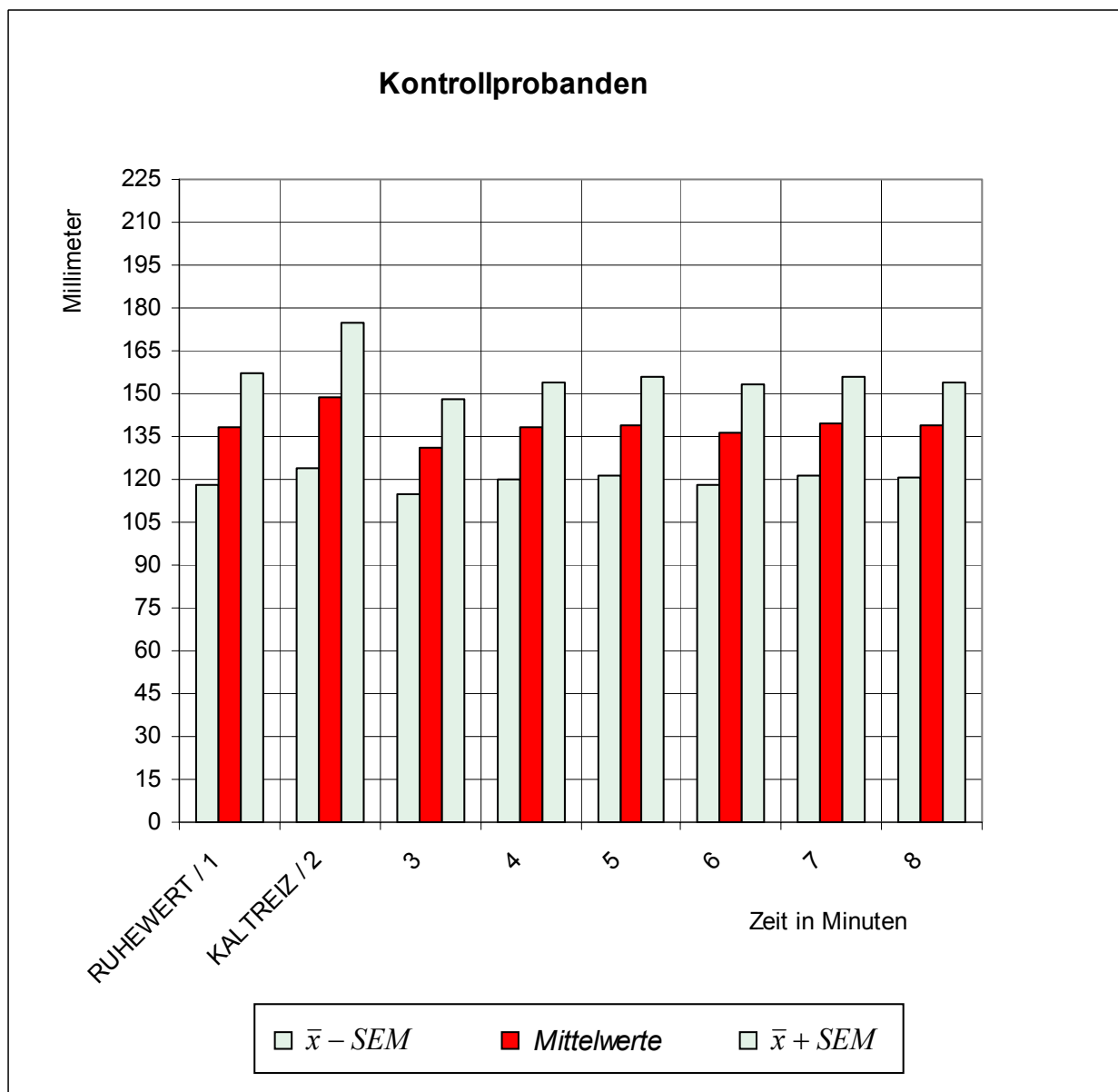


Abbildung 6: Nasenschleimhaut-Durchblutung der Kontrollgruppe: Mit dem Kaltreiz zunächst Durchblutungsanstieg, danach kurzzeitig Durchblutungsverringern sowie schnelle Normalisierung;  $n = 15$ .



Die in den Abbildungen 6 bis 8 dargestellten Durchblutungswerte an der Nasenschleimhaut zeigen schon vor dem Versuchsbeginn deutliche Unterschiede bei den 3 Gruppen. *Die höchsten Werte lassen sich bei den Eisbadern bzw. Winterschwimmern finden. Deren Ausgangsniveau der Durchblutung unterscheidet sich von dem der Saunagänger signifikant.* Dazwischen liegen die Durchblutungswerte der Kontrollpersonen; weder von Saunagängern noch von Winterschwimmern unterscheiden sich diese signifikant (Abb. 5).

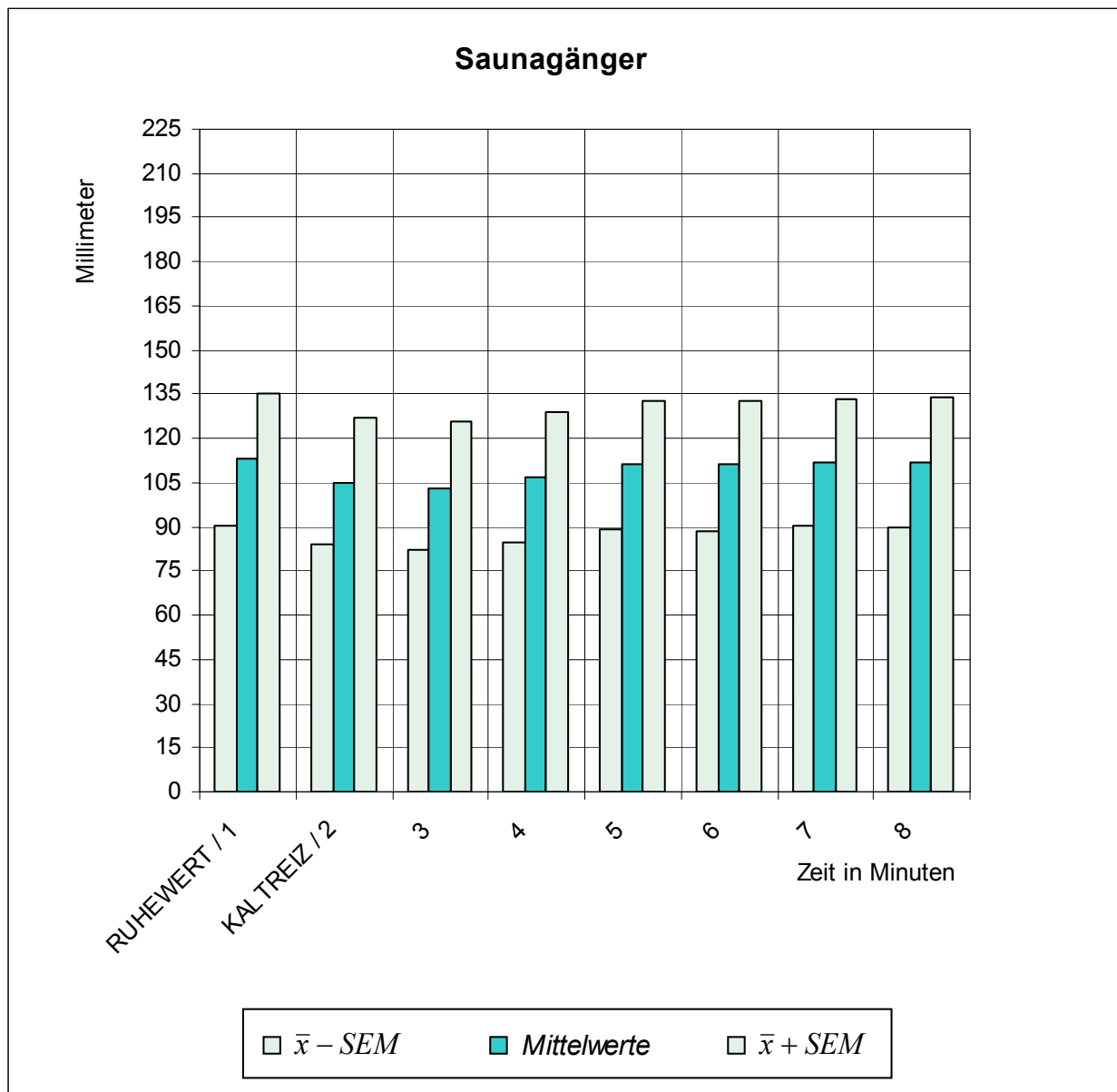


Abbildung 7: Nasenschleimhaut-Durchblutung der Saunagänger: Signifikanter Rückgang **während** des Kaltreizes sowie in der **Minute danach**;  $n = 15$ .

Während des einminütigen Kaltwasserbades der Füße und auch danach bleiben an der Nasenschleimhaut die Unterschiede der Durchblutung in der beschriebenen Reihenfolge bestehen: Die *größte Durchblutung weisen die Winterschwimmer auf, die niedrigste die Saunagänger.*

Die Gruppe der Kontrollpersonen zeigt während des kalten Fußbades eine im Vergleich zur Ruhephase höhere Durchblutung der Nasenschleimhaut auf, wie Abbildung 6 zeigt. Nach Beendigung des Kaltreizes fällt sie dann auf ein Minimum; signifikant ist diese Veränderung jedoch nicht. Schon während der 4. registrierten Minute nach Versuchbeginn wird bei den Kontrollpersonen die Ausgangsdurchblutung nahezu wieder erreicht und bleibt innerhalb des Streubereiches bis zur 8. Minute nahezu konstant.

Gemessen an der Kontrollgruppe liegt die Nasenschleimhautdurchblutung der Saunagänger erheblich, wenn auch nicht signifikant niedriger (Abb. 5). Während des Kaltreizes und noch mehr nach dessen Beendigung sinkt die Durchblutung signifikant (Abb. 7). Bei der Kontrollgruppe stieg sie in diesem Zeitraum (nicht signifikant) an und fiel erst dann ab (Abb. 6). Die Saunagänger bieten erst während der 4. registrierten Minute wieder einen auf die Vasokonstriktion folgenden Durchblutungsanstieg, der in der 7. Minute den Ausgangswert erreicht. Die Mittelwerte blieben dann während der 8. Minute gleich.

Die Abbildung 8 stellt die Durchblutungsverläufe der Winterschwimmer an der Nasenschleimhaut dar. Lag bei der konsensuellen Messung die Durchblutung der Saunagänger im Vergleich zur Kontrollgruppe (nicht signifikant) niedriger, so zeigen die Winterschwimmer schon mit der Ausgangsmessung erheblich höhere Werte. Von denen der Saunagänger unterscheiden sie sich sogar signifikant (Abb. 5). *Die Ruhedurchblutung der Kaltreizgewohnten liegt also höher als die der Nichtkaltreizgewohnten!*

Während des kalten Fußbades verringert sich die Durchblutung signifikant und wird danach kontinuierlich bis zur 7. Minute nach Versuchsbeginn wieder größer (Abb. 8). Dabei liegt sie ab der 5. Minute sogar über dem Ausgangswert.

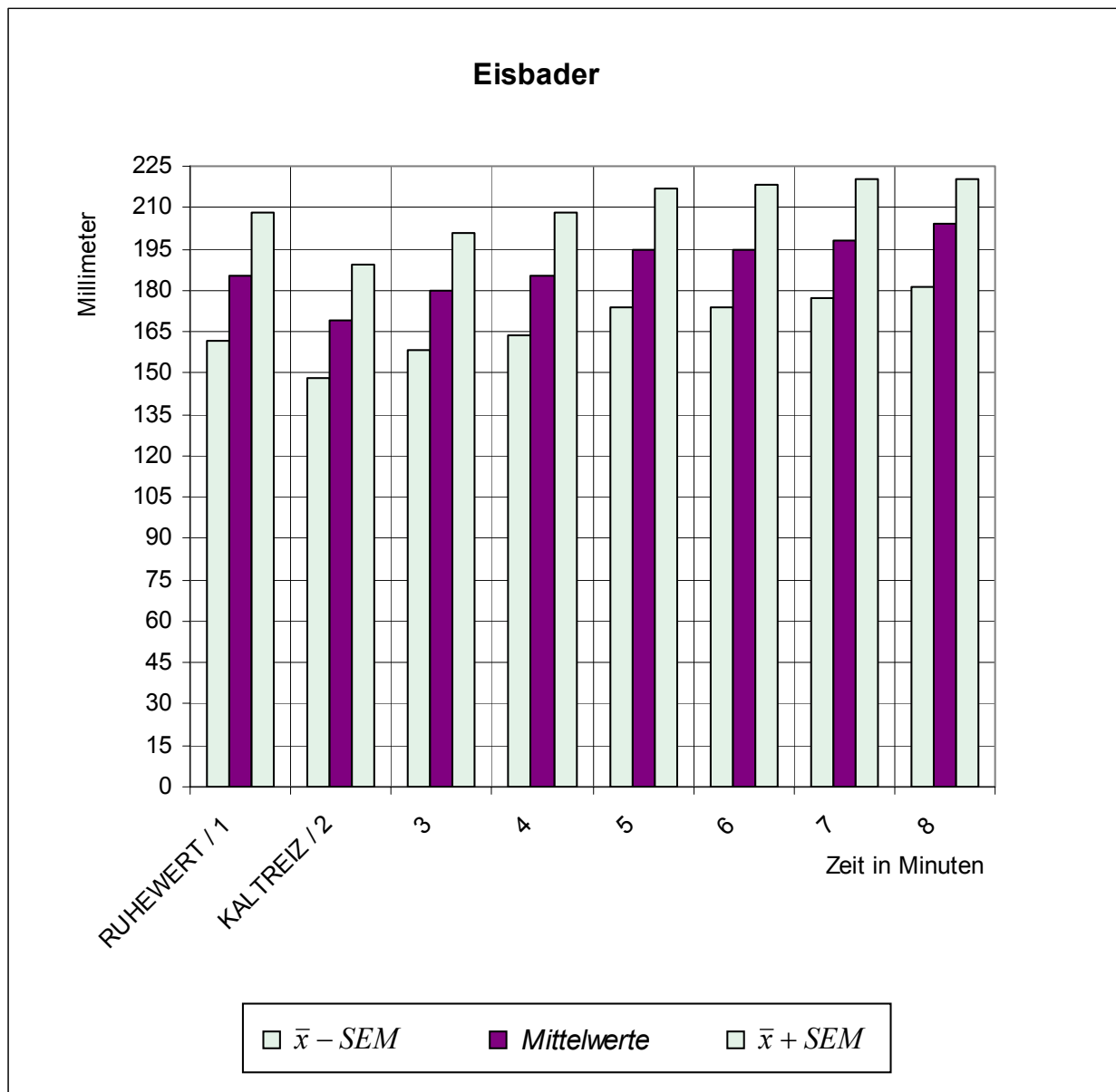


Abbildung 8: Nasenschleimhaut-Durchblutung bei den Eisbadern: Signifikantes Absinken während des Kaltreizes, anschließend Wiederanstieg der Durchblutung, die **ab** der 5. Minute **über** dem Ausgangswert liegt;  $n = 15$ .

### 5.1.2. Die Amplitude der Vasomotion an der Nasenschleimhaut

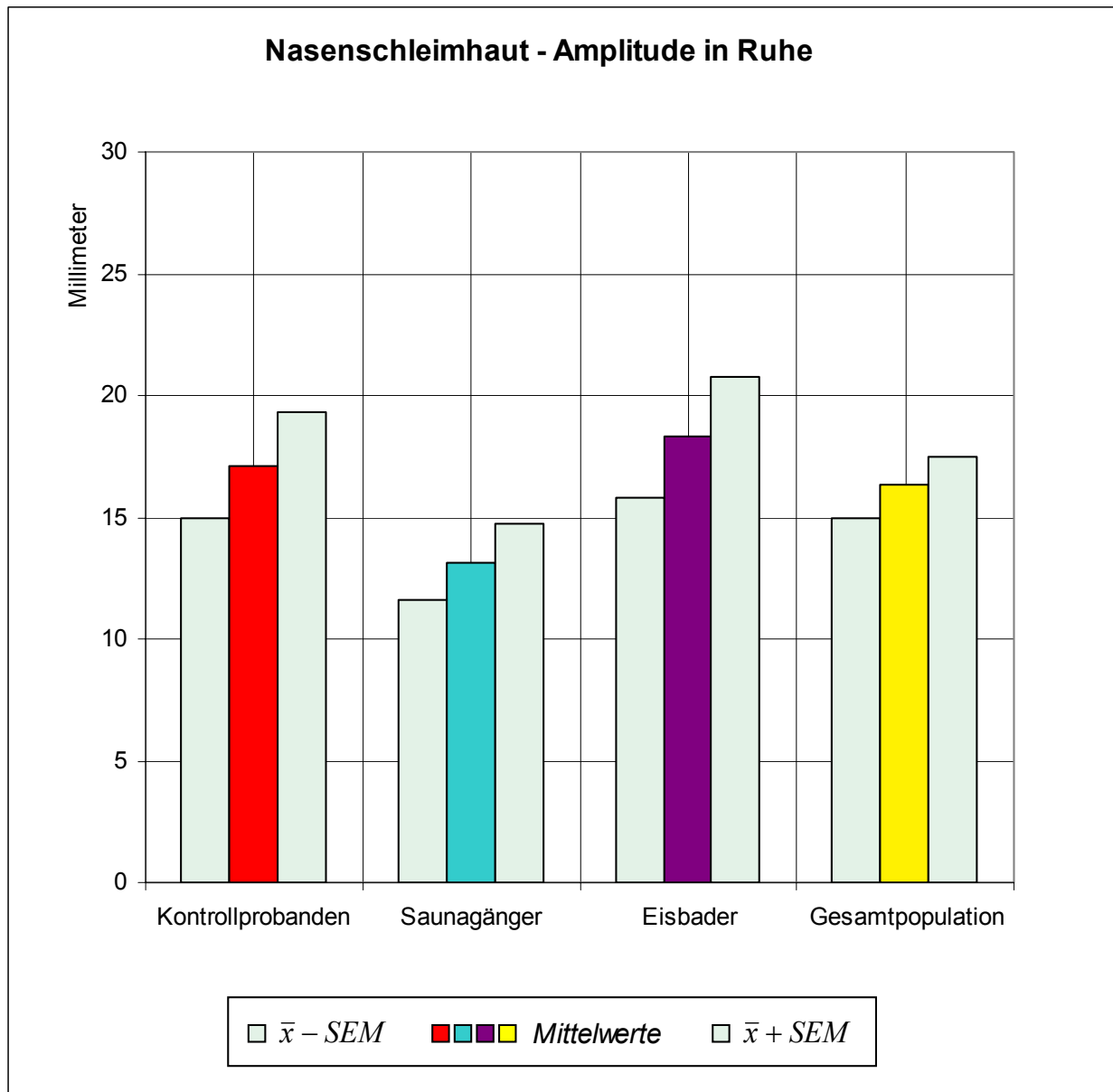


Abbildung 9: Nasenschleimhaut-Amplituden – Gruppenvergleich in Ruhe;  $n = 45$ .

Die *Amplitude* kennzeichnet die *Differenz der Erythrozytenmenge des jeweiligen Meßareals zwischen dem Zustand der Vasokonstriktion und dem der Gefäßerweiterung* gemäß den im Kapitel 4.6. genannten Kriterien. Dabei werden mit der Laser-Doppler-Methode entsprechend der Aufgabenstellung sowohl *Vasomotorik als auch Vasomotion* erfaßt.

Die Amplituden der 3 Probandengruppen kennzeichnen bei Kaltreizeinwirkung an der Nasenschleimhaut einen signifikanten Unterschied:

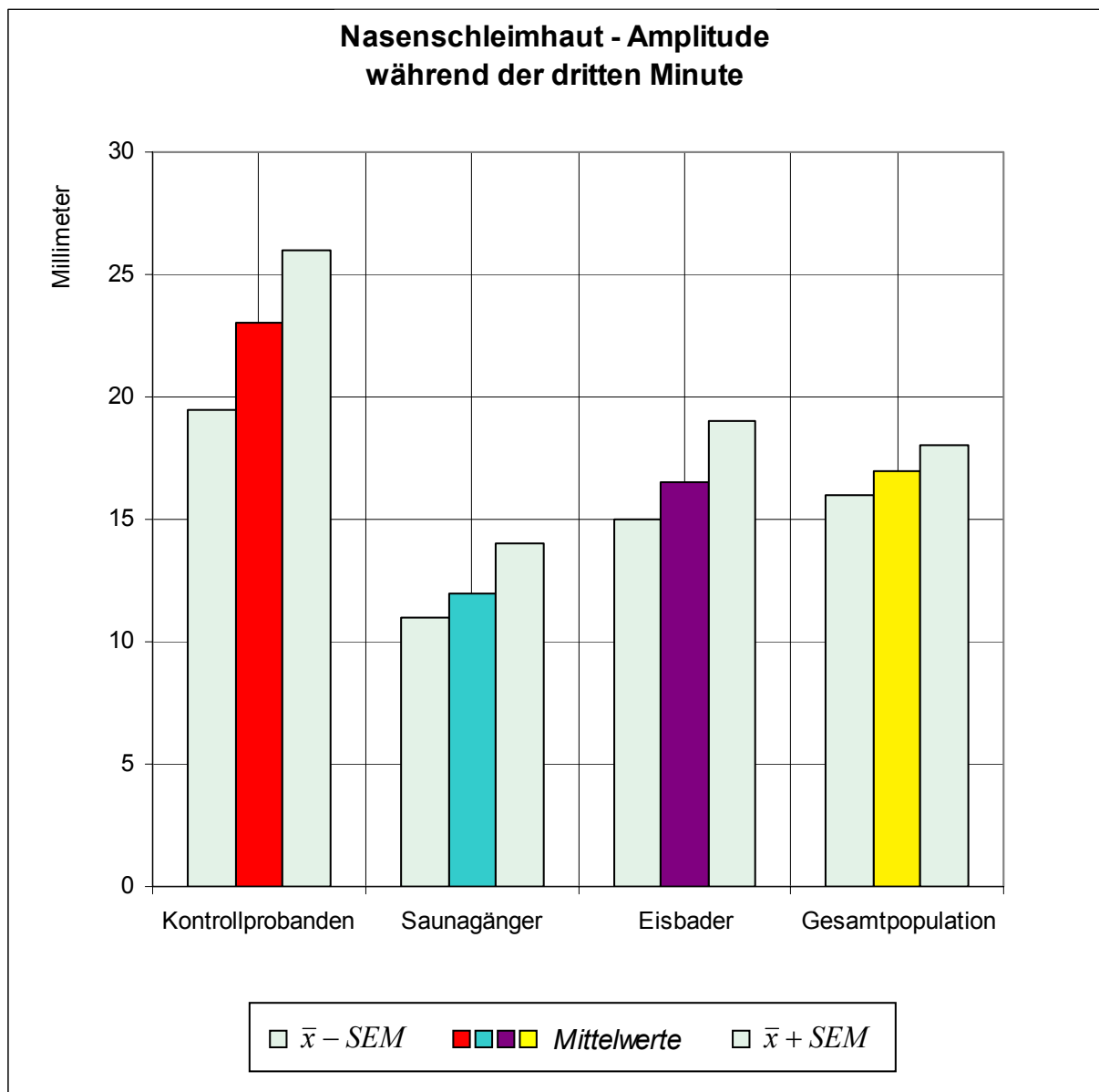


Abbildung 10: Nasenschleimhaut-Amplituden – Gruppenvergleich während der 3. Minute;  $n = 45$ .

Weisen bei der Ausgangsmessung noch die Winterschwimmer im Gruppenvergleich die größte und dagegen die Saunagänger die kleinste Amplitude auf (Abb. 9), ist unmittelbar nach Beendigung des kalten Fußbades, also während der 3. registrierten Minute (Abb. 10), die Amplitude der Kontrollgruppe am höchsten, und zwar signifikant größer als die der Saunagänger. Größtenteils ist dieser Effekt auf die einsetzende Vasokonstriktion durch den Kaltreiz zurückzuführen.

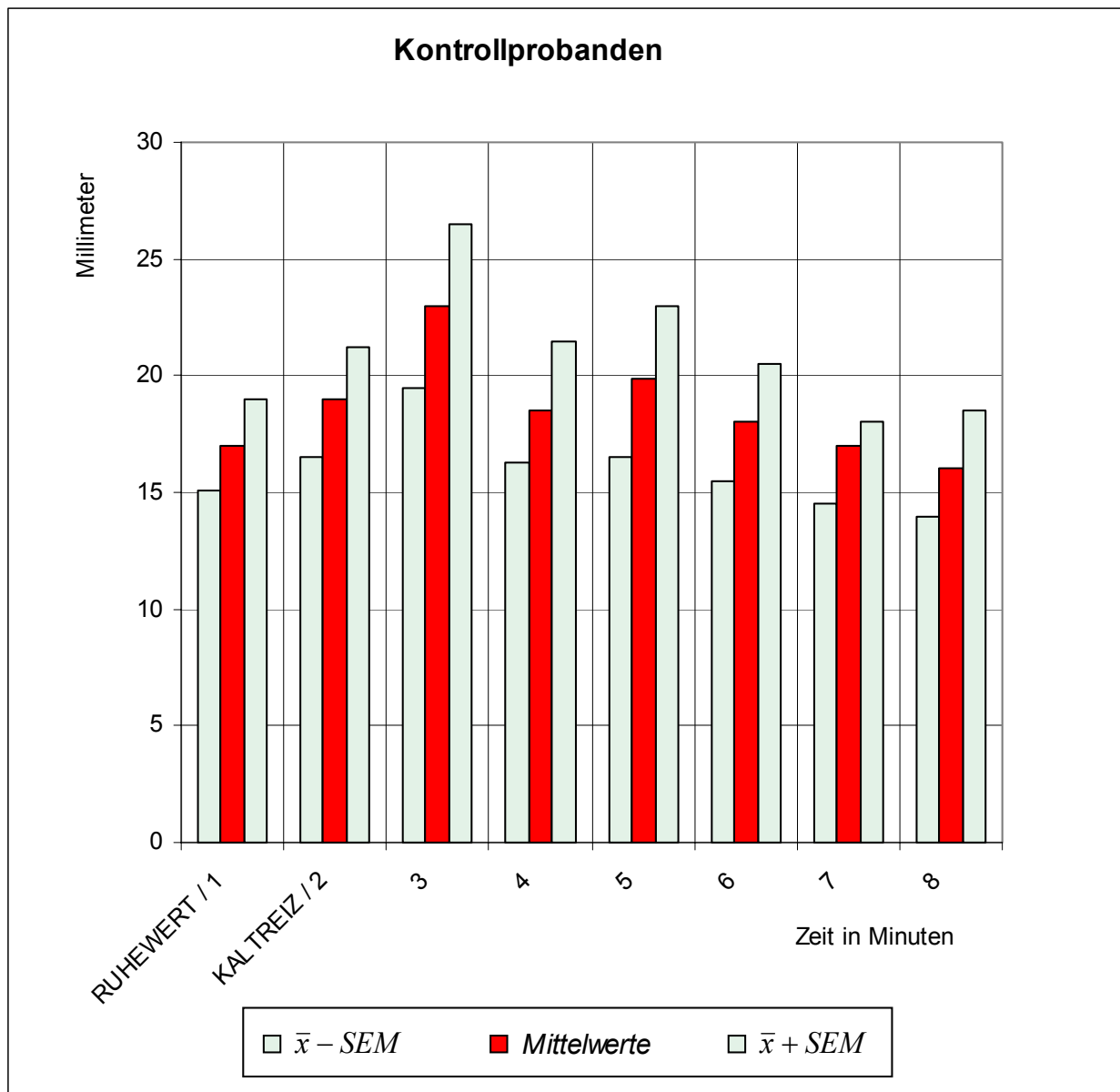


Abbildung 11: Nasenschleimhaut der Kontrollgruppe: Hier steigt die Amplitude von Vasomotorik Vasomotion nicht nur **während**, sondern auch **nach** dem Kaltreiz weiter an; während der 4. Minute Amplitudenrückgang;  $n = 15$ .

Intraindividuell wird bei der Kontrollgruppe die Amplitude während des Kaltreizes größer (Abb. 11). Diese Tendenz setzt sich nach Beendigung des kalten Fußbades signifikant weiter fort. In der 4. Minute nach Versuchsbeginn wird die Amplitude zunächst kleiner, steigt dann während der 5. Minute wieder an und fällt ab in der 6. Minute. Die erreichten Amplitudenhöhen während der 7. und 8. Minute liegen zunehmend unter dem Ausgangsniveau der Ruhewerte.

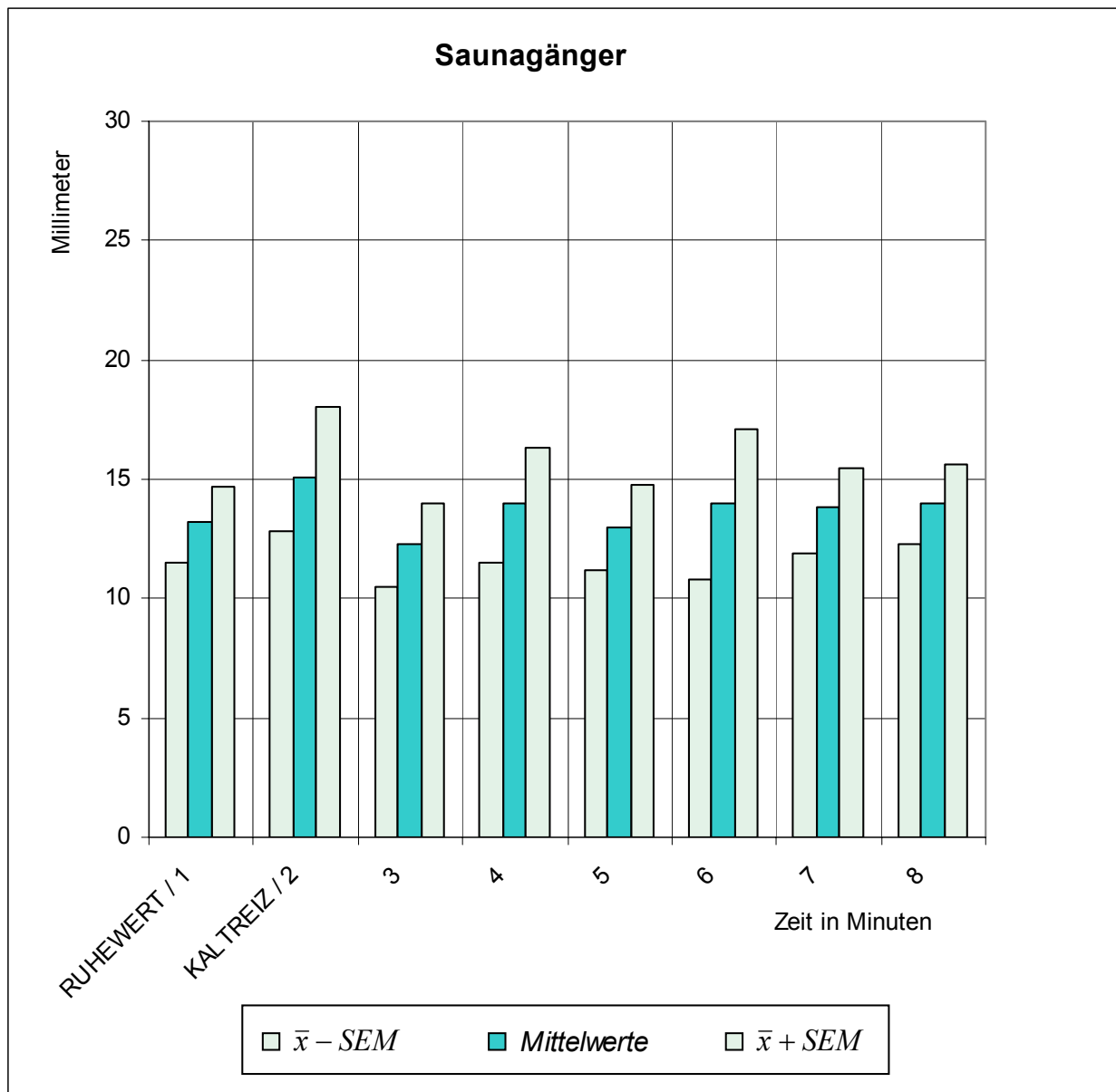


Abbildung 12: Nasenschleimhaut der Saunagänger - die insgesamt niedrigste Amplitude von Vasomotorik und Vasomotion wird während des Kaltreizes größer und sinkt nach dessen Beendigung auf ein Minimum;  $n = 15$ .

Wie bei der Messung der Durchblutung ist auch die Amplitude der Saunagänger in Ruhe (nicht signifikant) kleiner als die entsprechende der Kontrollpersonen. Während des Kaltreizes wird sie größer, erreicht dann aber (Abb. 12) während der 3. registrierten Minute das Minimum, wogegen bei der Kontrollgruppe hier eine Zunahme zu verzeichnen war. Von der 4. – 8. Minute nach Versuchsbeginn liegt die Amplitude der Saunagänger in der Nähe des Ausgangswertes. Insgesamt bietet dieser Versuch keine signifikanten Veränderungen.

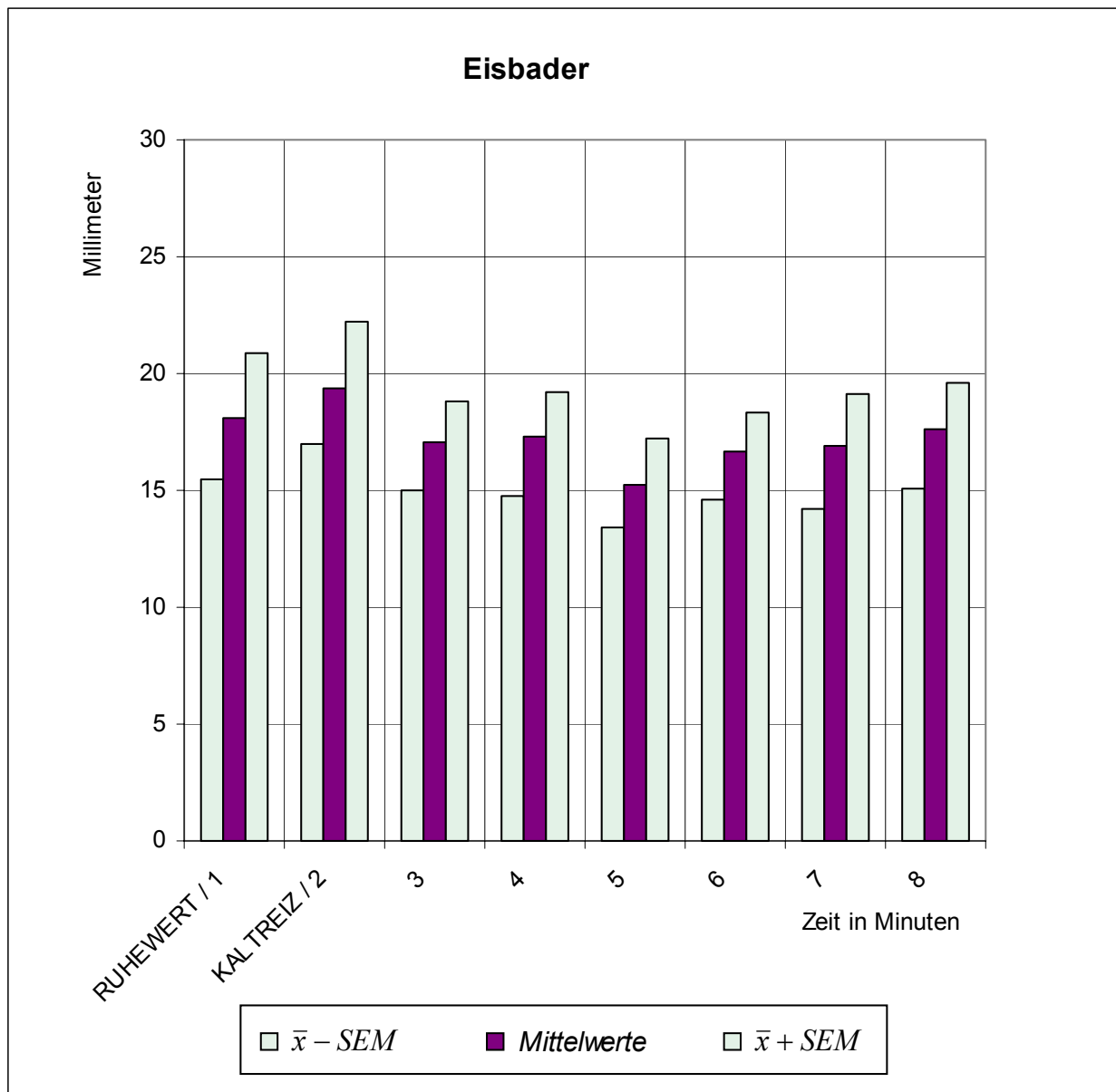


Abbildung 13: Nasenschleimhaut der Eisbader: Die Amplitude von Vasomotorik und Vasomotion steigt mit Einsetzen des Kaltreizes an; nach dessen Beendigung kleinere Amplituden entsprechend Gefäßkaliberschwankungen;  $n = 15$ .

In der Probandengruppe der Winterschwimmer sind die Amplituden von Anfang an zwar nicht signifikant, aber *deutlich größer als die der Saunagänger* bei sonst vergleichbarem Verlauf (Abb. 13). Wieder ist die Amplitude im Durchschnitt während des Kaltreizes größer und wird nach dessen Ende kleiner als die Ausgangsamplitude in Ruhe. Bis zum Ende der Messung bleiben die Amplituden im wesentlichen gleich; lediglich in der 5. Minute sind sie kleiner. Wie bei den Saunagängern kommt es bei diesem Versuch zu keiner signifikanten Änderung.



### 5.1.3. Die Frequenz der Vasomotion an der Nasenschleimhaut

Die Ruhefrequenz der Vasomotion an der Nasenschleimhaut der Winterschwimmer liegt zwischen den Ruhewerten der anderen Probandengruppen: Am größten ist die der Kontrollgruppe, während die *Saunagänger die niedrigste Frequenz als Ausgangswert* aufweisen. Signifikant sind die Unterschiede hier allerdings nicht.

Während des kalten Fußbades verändert sich die Frequenz der Kontrollpersonen an der Nasenschleimhaut nicht! Nach dessen Beendigung wird sie deutlich kleiner und steigt ab der 3. gemessenen Minute wieder an.

Auch in der Gruppe der Saunagänger sind keine signifikanten Frequenzänderungen nachweisbar. Die hier im Gruppenvergleich anfangs niedrigsten Frequenzen der Versuchsreihe erhöhen sich während des kalten Fußbades und sinken danach wieder ab. Während der 4. Minute ist die Ausgangsfrequenz in Ruhe bereits wieder überschritten.

Bei den Winterschwimmern ist die Tendenz sehr ähnlich: Während des Kaltwasserbades erhöht sich die Frequenz im Vergleich zum Ruhewert und wird dann nach Kaltreizende kleiner. Während der 4. registrierten Minute ist sie höher als der Ausgangswert. Auch hier sind keine signifikanten Unterschiede nachweisbar.

## 5.2. Konsensuelle Reaktion von Vasomotorik und Vasomotion am Hypothenar von Kontrollpersonen, Saunagängern und Winterschwimmern auf einen Kaltreiz am Fuß

### 5.2.1. Die Durchblutung am Hypothenar

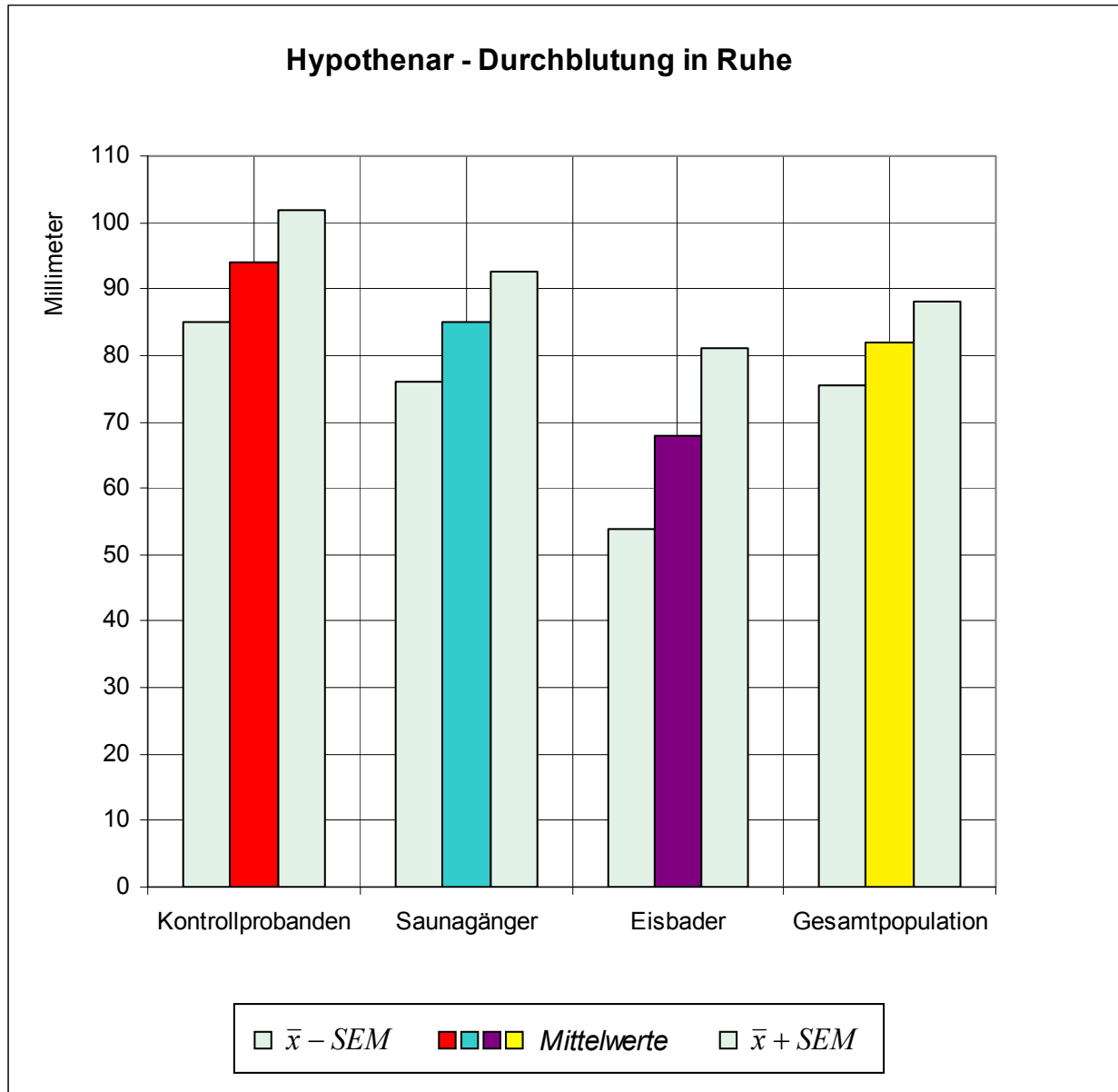


Abbildung 14: Ausgangswert (Ruhedurchblutung) am Hypothenar für alle drei Probandengruppen: Bei den Eisbadern ist die Durchblutung **signifikant kleiner** als die der Kontrollgruppe;  $n = 45$ .

Den Vergleich der Hypothenardurchblutung aller drei Probandengruppen zeigt Abbildung 14: Die Winterschwimmer weisen - signifikant unterschiedlich - die niedrigste und die Kontrollgruppe die höchste Durchblutung auf. Dazwischen liegt die der Saunagänger.

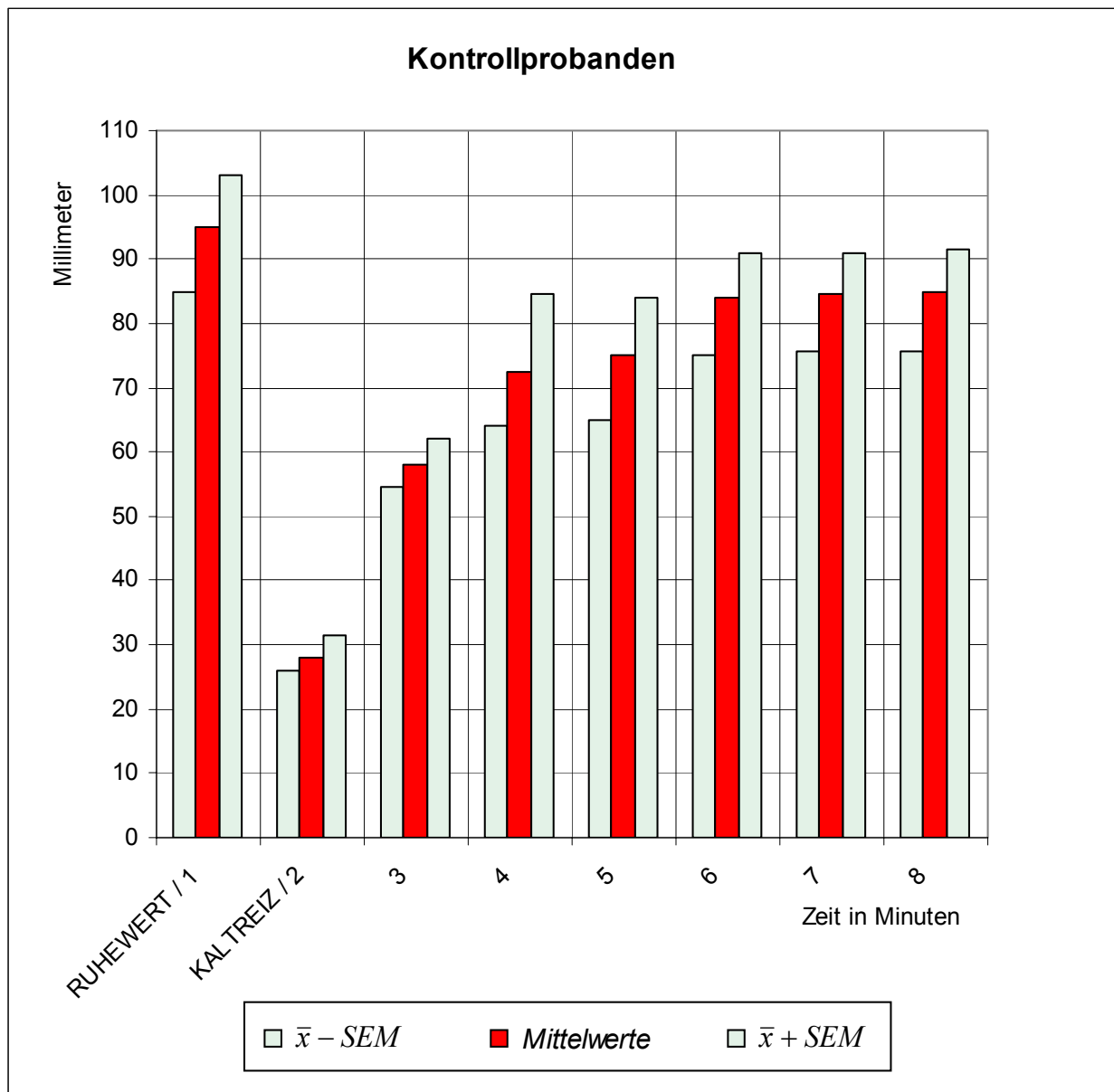


Abbildung 15: Hypothenar-Durchblutung bei den Kontrollpersonen: In Ruhe der **im Gruppenvergleich höchste** Ausgangswert, beim Kaltreiz signifikanter Abfall auf die **niedrigste** Durchblutung;  $n = 15$ .

Im Vergleich zu den anderen Probandengruppen geht aus Abbildung 15 die *extreme Durchblutungsänderung der Kontrollgruppe am Hypothenar* hervor: Der im Verhältnis zu Saunagängern und Winterschwimmern höchsten Ruhedurchblutung folgt schon während des kalten Fußbades ein signifikanter Durchblutungsabfall.

Etwa 4 Minuten nach dem Reizende stabilisiert sie sich dann bei ca. 90 % des Ausgangswertes. Das kaltreizbedingte Minimum unterscheidet sich signifikant von den Durchblutungswerten davor bzw. danach.

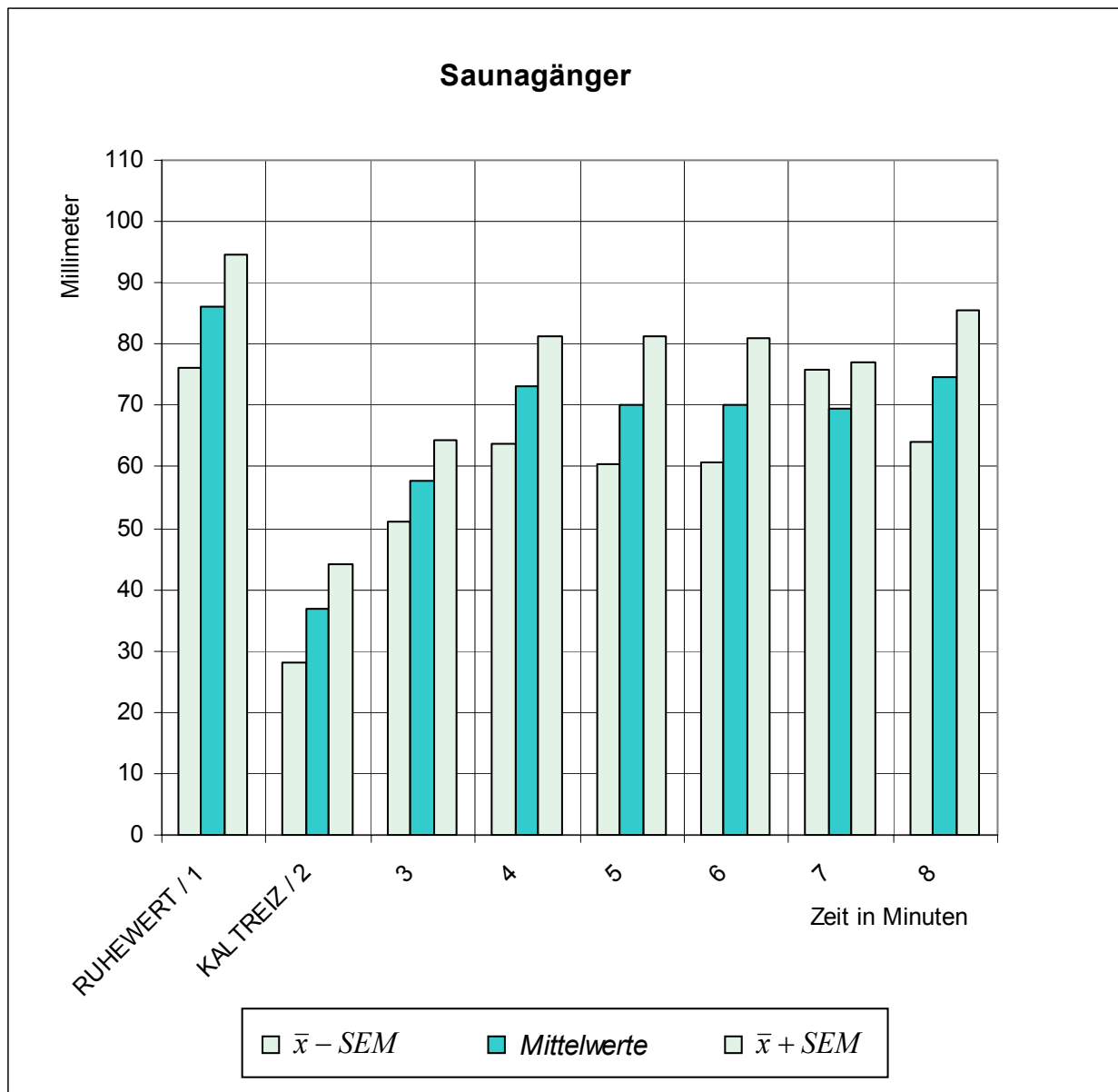


Abbildung 16: Hypothenar-Durchblutung bei den Saunagängern: Der Ausgangswert wird nicht wieder erreicht; während des Kaltreizes signifikanter Durchblutungsrückgang;  $n = 15$ .

Auch bei den Saunagängern (Abb. 16) stellt sich eine signifikante Durchblutungsänderung am Hypothenar durch das kalte Fußbad ein: Nach im Vergleich zur Kontrollgruppe niedrigerem Ausgangswert in Ruhe ist der Abfall während des Kaltreizes jedoch nicht so ausgeprägt.

Bis zur 4. registrierten Minute kommt es dann zur kontinuierlichen Normalisierung der Durchblutung in Richtung des Ausgangsniveaus sowie fortan zu einem gleichbleibenden Niveau bei etwa 80 % des Ausgangswertes. Bis zur 8. Minute sind dann nur unwesentliche Schwankungen der Mittelwerte zu verzeichnen.

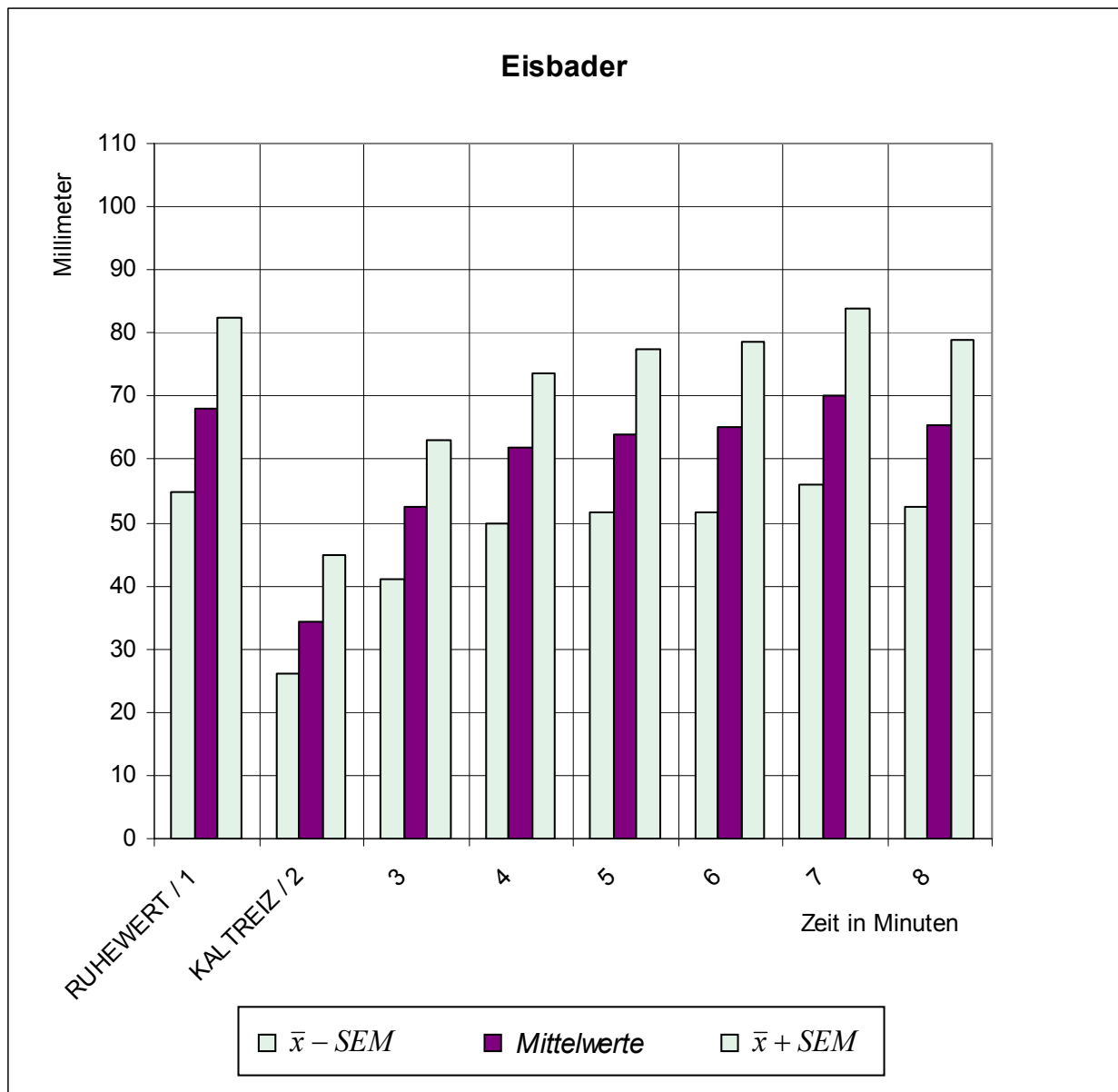


Abbildung 17: Die Durchblutung am Hypothenar der Eisbader: **Niedrigste** Ruhedurchblutung im Gruppenvergleich; nach dem Kaltreiz schnelle Normalisierung auf Werte entsprechend des Ausgangsniveaus;  $n = 15$ .

Die Winterschwimmer weisen die *geringste Ausgangsdurchblutung* auf. Anders als bei den anderen Probandengruppen verringert sich die Durchblutung während des Kaltreizes nicht signifikant (Abb. 17). Im Anschluß daran zeigt sich ein schneller Wiederanstieg der Durchblutung; ab der 4. Minute nahe dem Ausgangswert. Während der 7. Minute übersteigt sie diesen in geringem Maße.

### 5.2.2. Die Amplitude der Vasomotion am Hypothenar

In dieser Versuchsreihe weist keine Probandengruppe signifikant unterschiedliche Amplitudenwerte auf. Die Kontrollgruppe zeigt im Vergleich mit Eisbadern und Saunagängern eine kleine Ruheamplitude. Nach einem *vasomotorisch bedingten (nicht signifikanten) Amplitudenmaximum am Hypothenar während des kalten Fußbades* liegen die Werte bis zum Versuchsende gering unterhalb dessen, sind aber deutlich größer als der Ruhewert.

Die Ruheamplitude am Hypothenar der Saunagänger ist etwas größer als die der Kontrollgruppe. Mit dem Kaltreiz bewirkt die Vasomotorik ein nicht signifikantes Amplitudenmaximum. Im Gegensatz zu den nicht abgehärteten Kontrollpersonen werden die Amplituden nach Beendigung des kalten Fußbades erheblich, wenn auch nicht signifikant kleiner und sind insgesamt nur noch wenig größer als in Ruhe. Mit der 3. Minute nach Versuchsbeginn setzt dann die schon bei den Kontrollpersonen beschriebene Normalisierung der Amplituden auf Werte leicht unterhalb des Maximums beim Kaltreiz ein. Bis zum Ende der Messungen bleiben sie innerhalb des Bereiches zwischen diesem Maximum und den Ruhewerten.

Bei den Winterschwimmern ist die Ruheamplitude am kleinsten, unterscheidet sich aber nur unbedeutend von den anderen Probandengruppen. Wie bei diesen bewirkt die Vasomotorik während des kalten Fußbades ein Amplitudenmaximum am Hypothenar; nach dem Kaltreiz fallen die Durchschnittswerte dann aber mehr noch als bei den Saunagängern steil ab und liegen unterhalb des Ruhewertes.

Die Ähnlichkeit zum Amplitudenverlauf der Saunagänger setzt sich im Verlauf der Messungen weiter fort: Während der 3. – 5. Minute nach Versuchsbeginn liegen die Werte wieder erheblich höher, etwas unterhalb der beim Kaltreiz gemessenen. Die Winterschwimmer weisen dann mit der 6. Minute nach Versuchsbeginn ein Amplitudenminimum auf, welches sowohl unterhalb der Ruhephase als auch der 2. Minute liegt.

### 5.2.3. Die Frequenz der Vasomotion am Hypothenar

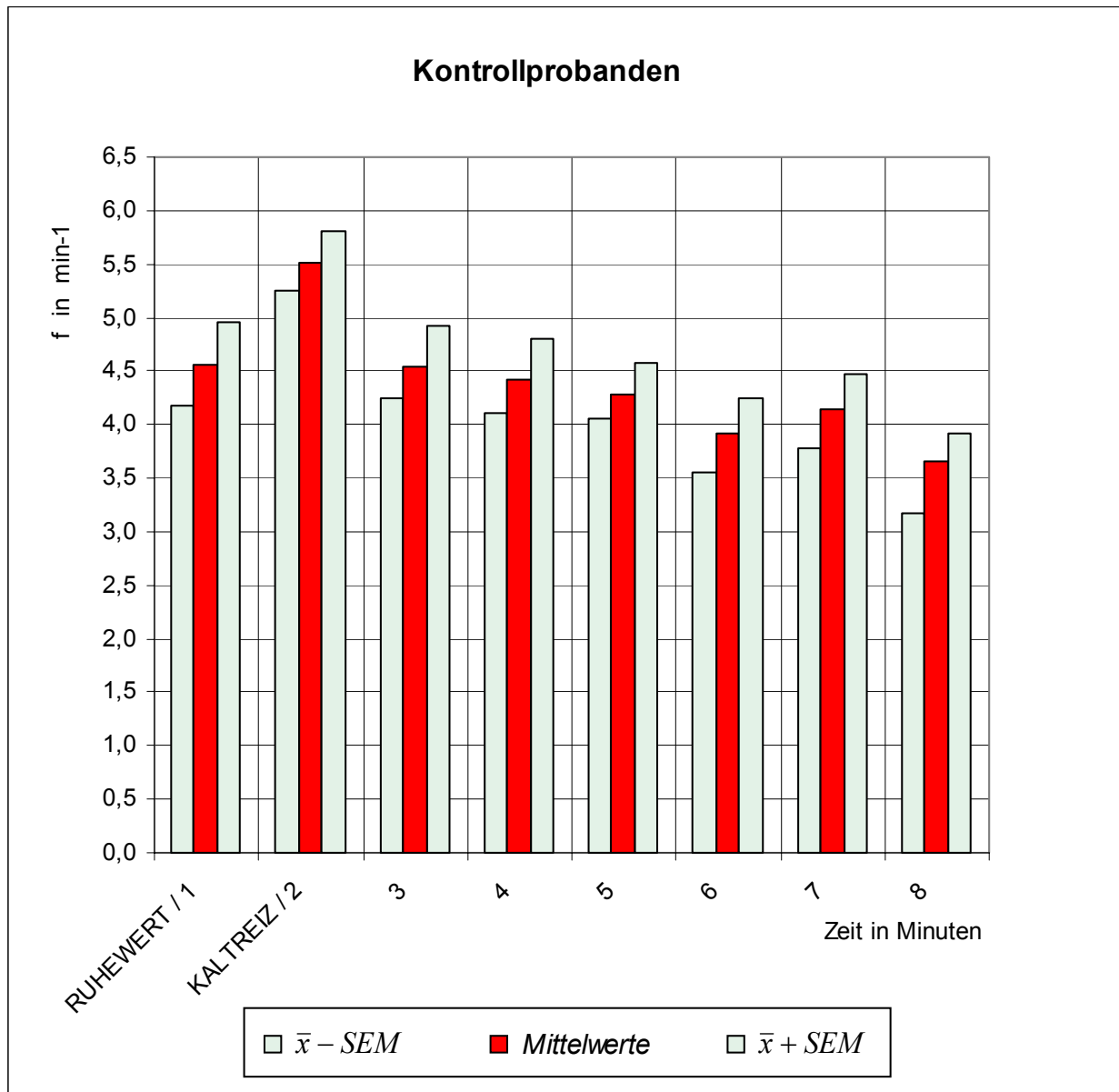


Abbildung 18: Vasomotionsfrequenz am Hypothenar der Kontrollgruppe: **Niedrigste** Ausgangsfrequenz im Gruppenvergleich; nach signifikantem Anstieg **während** des Kaltreizes dann Rückgang;  $n = 15$ .

Bei den Kontrollpersonen kommt es am Hypothenar durch das kalte Fußbad zu signifikanten Frequenzänderungen im Gegensatz zu Saunagängern und Winterschwimmern. Einer größeren Frequenz während des Kaltreizes (Abb. 18) folgt das Absinken erst auf den Ruhewert und dann während der 6. registrierten Minute auch unterhalb dessen.

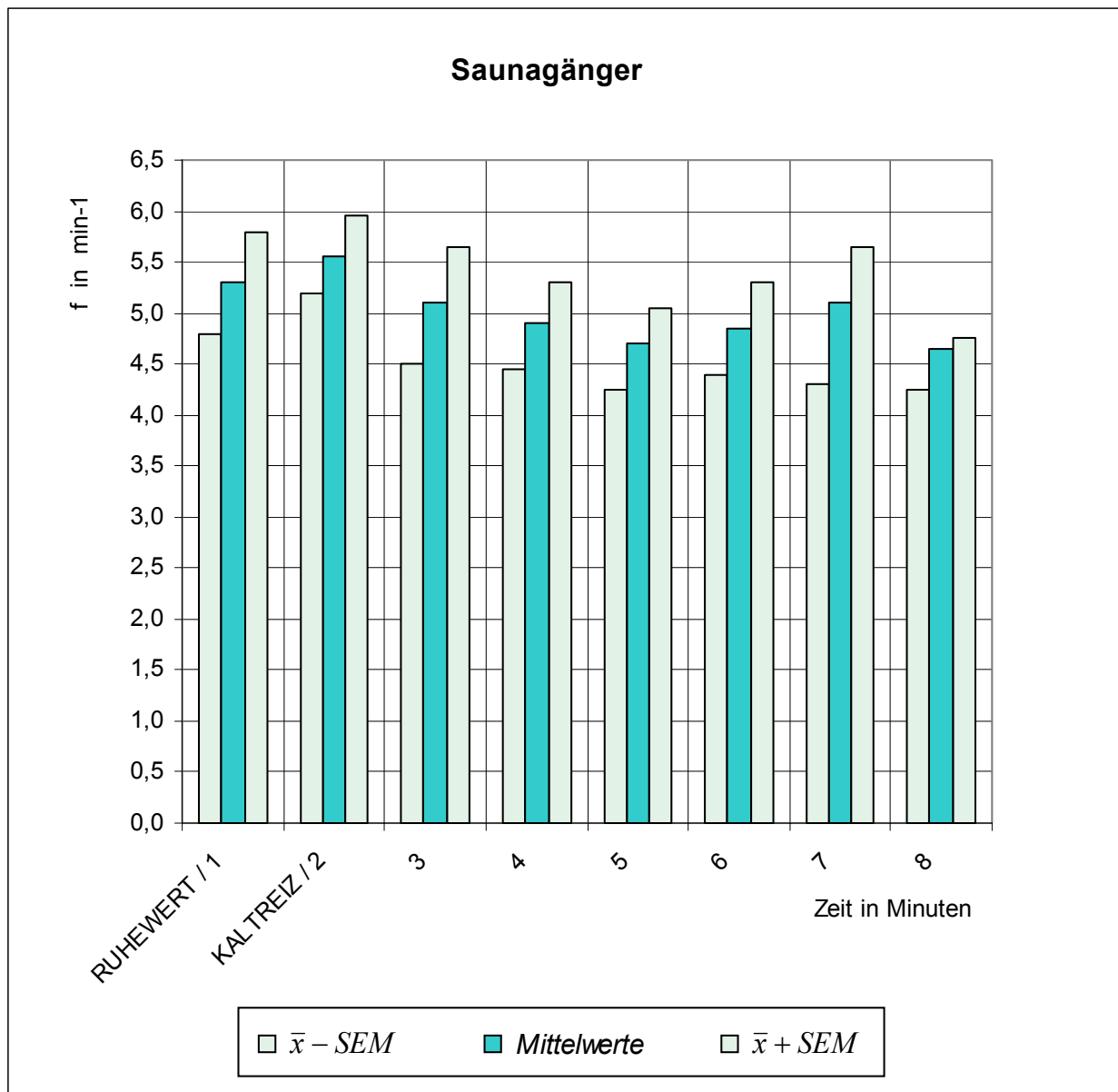


Abbildung 19: Vasomotionsfrequenz am Hypothenar der Saunagänger: Nur geringer Frequenzanstieg während des Kaltreizes; anschließend **kein** deutlicher Rückgang wie bei den Kontrollpersonen;  $n = 15$ .

Die Ausgangsfrequenz der Saunagänger liegt in Ruhe zwischen der niedrigeren der Kontrollgruppe und der höheren der Winterschwimmer. Wie bei den Kontrollpersonen steigt sie während des Kaltreizes, verändert sich aber nicht signifikant. Nach Beendigung des kalten Fußbades sinkt die Frequenz leicht unter den Ruhewert ab und fällt bis zur 5. Minute nach Versuchsbeginn weiter in geringem Maße. Das Minimum während dieser 5. registrierten Minute wird nach einem vorübergehenden Anstieg in der 6. und 7. Minute - wie aus Abbildung 19 hervorgeht - während der 8. Minute wieder erreicht.



Die Ruhefrequenz der Vasomotion am Hypothenar der Winterschwimmer (Abb. 20) ist die höchste der drei Probandengruppen in dieser Versuchsreihe.

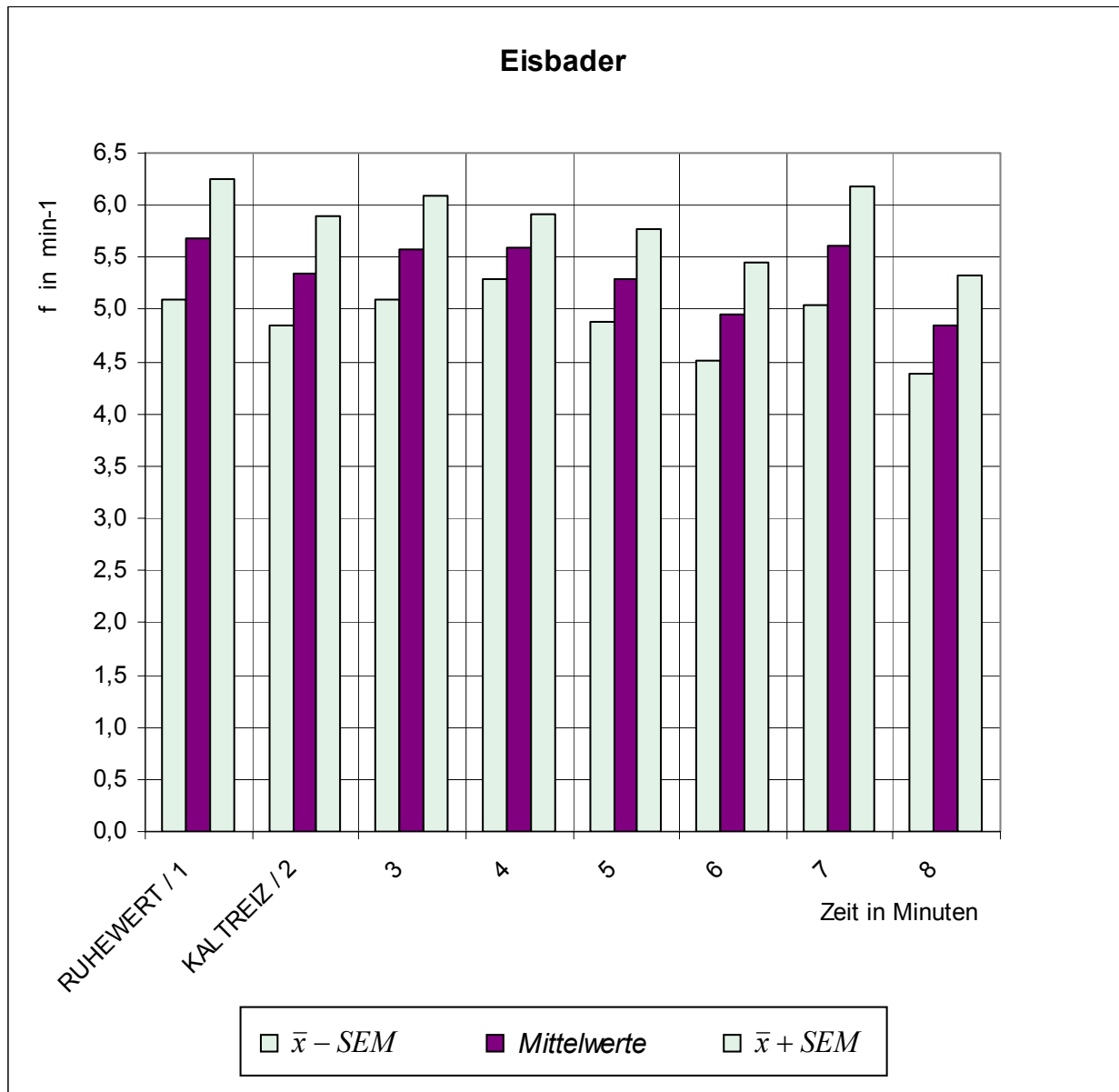


Abbildung 20: Vasomotionsfrequenz am Hypothenar der Eisbader: **Höchster** Ausgangswert im Gruppenvergleich, mit dem Kaltreiz sinkt die Frequenz **im Gegensatz zu den anderen Probandengruppen** ab; danach wird die Ausgangsfrequenz **zeitweise** wieder erreicht;  $n = 15$ .

Im Gegensatz zu Saunagängern und Kontrollpersonen sinkt die Frequenz *während des kalten Fußbades* bei den Winterschwimmern ab, um anschließend wieder schnell den Ruhewert zu erreichen.

Während der 5., 6. und 8. Minute verringert sich die Vasomotionsfrequenz. Wie bei den Saunagängern treten bei diesem Versuch keine signifikanten Änderungen der Meßwerte auf.

### 5.3. Lokale Reaktion von Vasomotorik und Vasomotion bei einem Eisschmelzwasserbad am rechten Mittelfinger von Kontrollpersonen, Saunagängern und Winterschwimmern

#### 5.3.1. Die Durchblutung am Mittelfinger

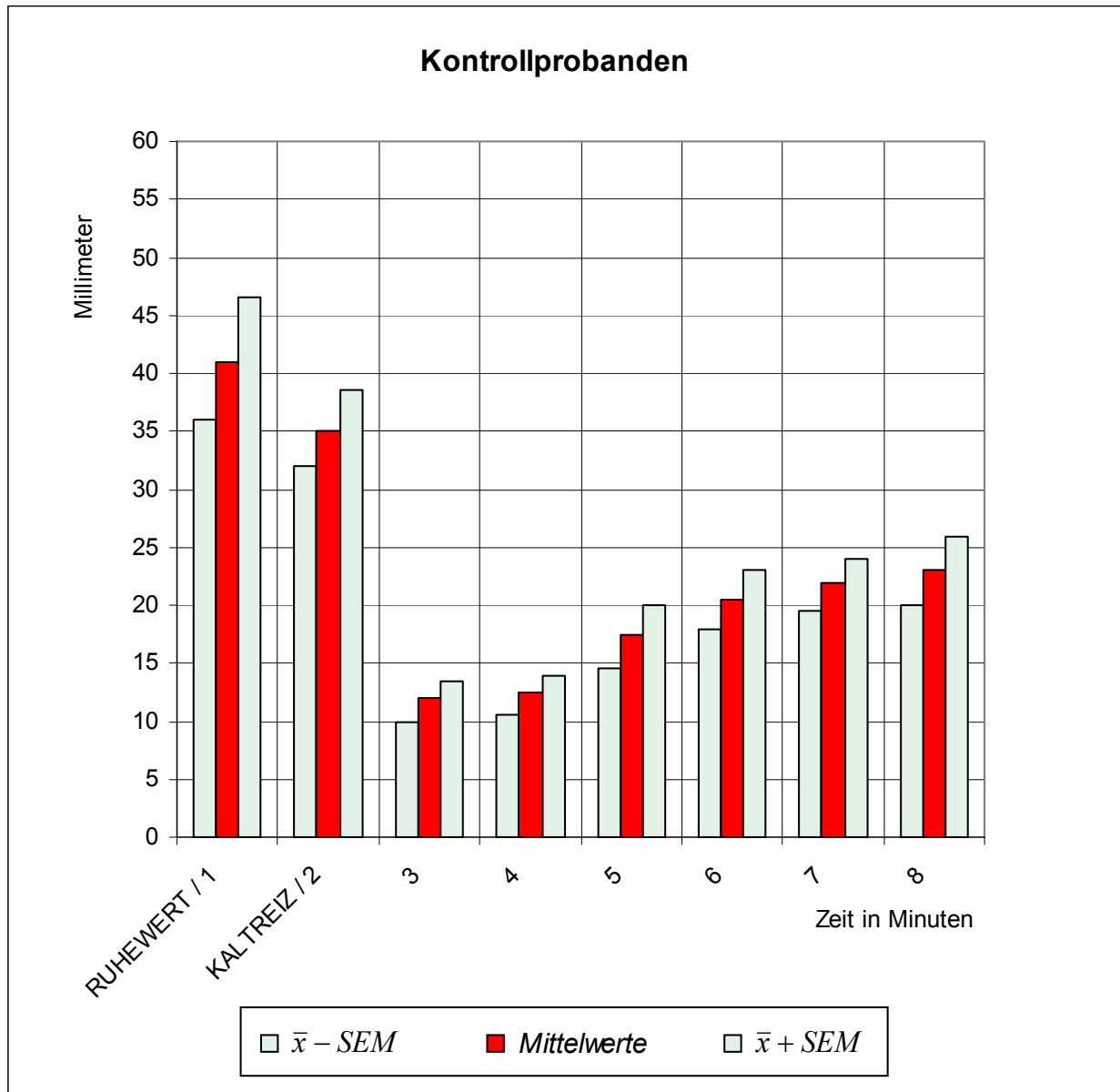


Abbildung 21: Durchblutung am Mittelfinger der Kontrollpersonen: Im Gruppenvergleich höchste Ausgangsdurchblutung, die mit dem Kaltreiz deutlich und danach sogar signifikant abfällt;  $n = 15$ .

Die Ausgangsdurchblutung der Kontrollpersonen ist höher als die der Saunagänger und Winterschwimmer. Während des Eiswasserbades wird sie kleiner (Abb. 21), um dann nach

dessen Beendigung zunächst steil abzufallen. Nach diesem Minimum der 3. Minute steigt die akrale Durchblutung langsam wieder an.

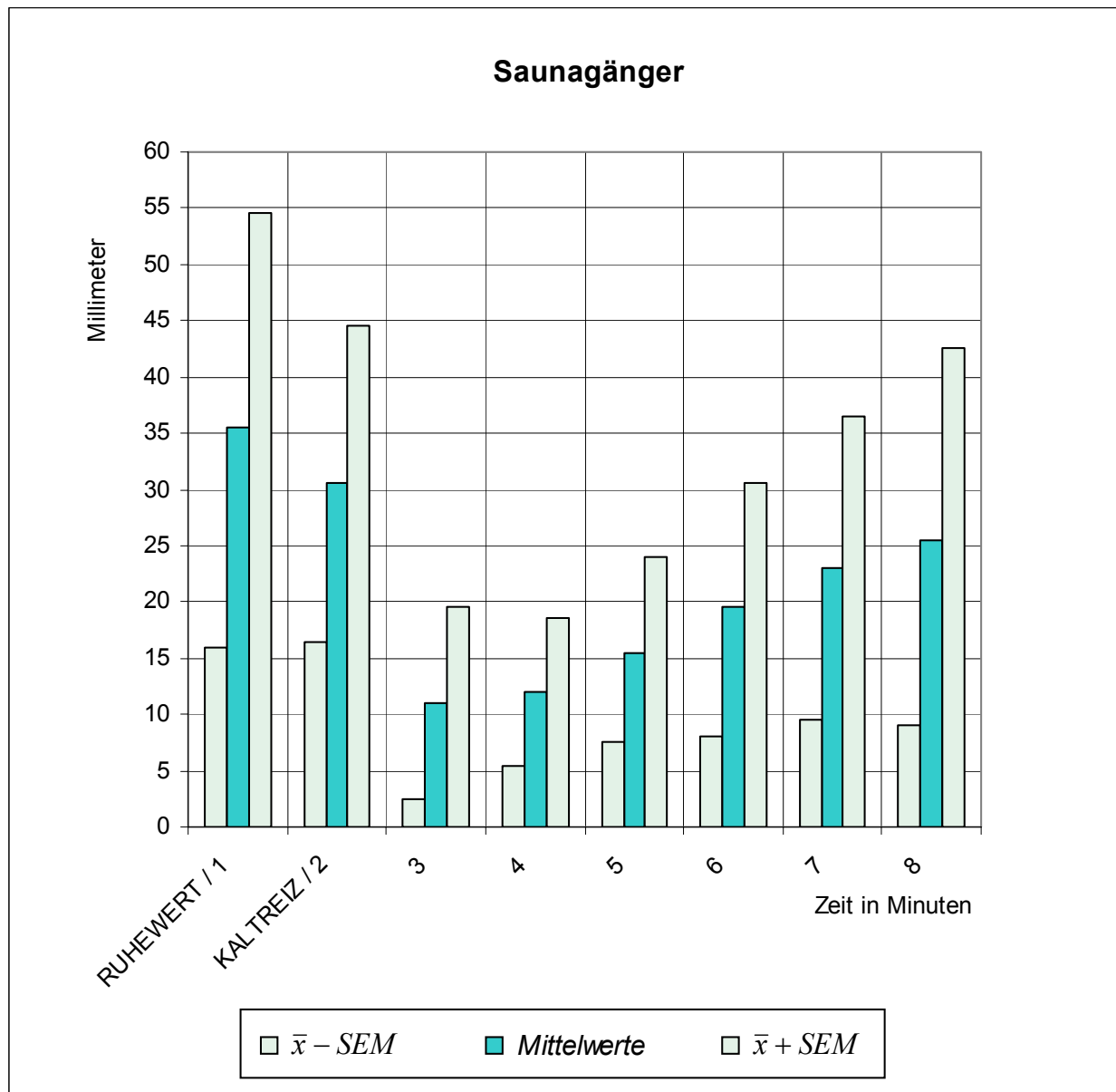


Abbildung 22: Durchblutung am Mittelfinger der Saunagänger: Wie bei den Kontrollpersonen **während** des Kaltreizes Rückgang; nach dessen Beendigung signifikant;  $n = 15$ .

In der Gruppe der Saunagänger (Abb. 22) ist die Ruhedurchblutung kleiner als die der nicht abgehärteten Kontrollgruppe. Wieder zeigt sich während des Eiswasserbades ein mäßiger Durchblutungsrückgang und danach ein signifikanter Abfall, wenn auch nicht so ausgeprägt wie bei den Kontrollpersonen. Anschließend vergrößert sich die Durchblutung kontinuierlich.

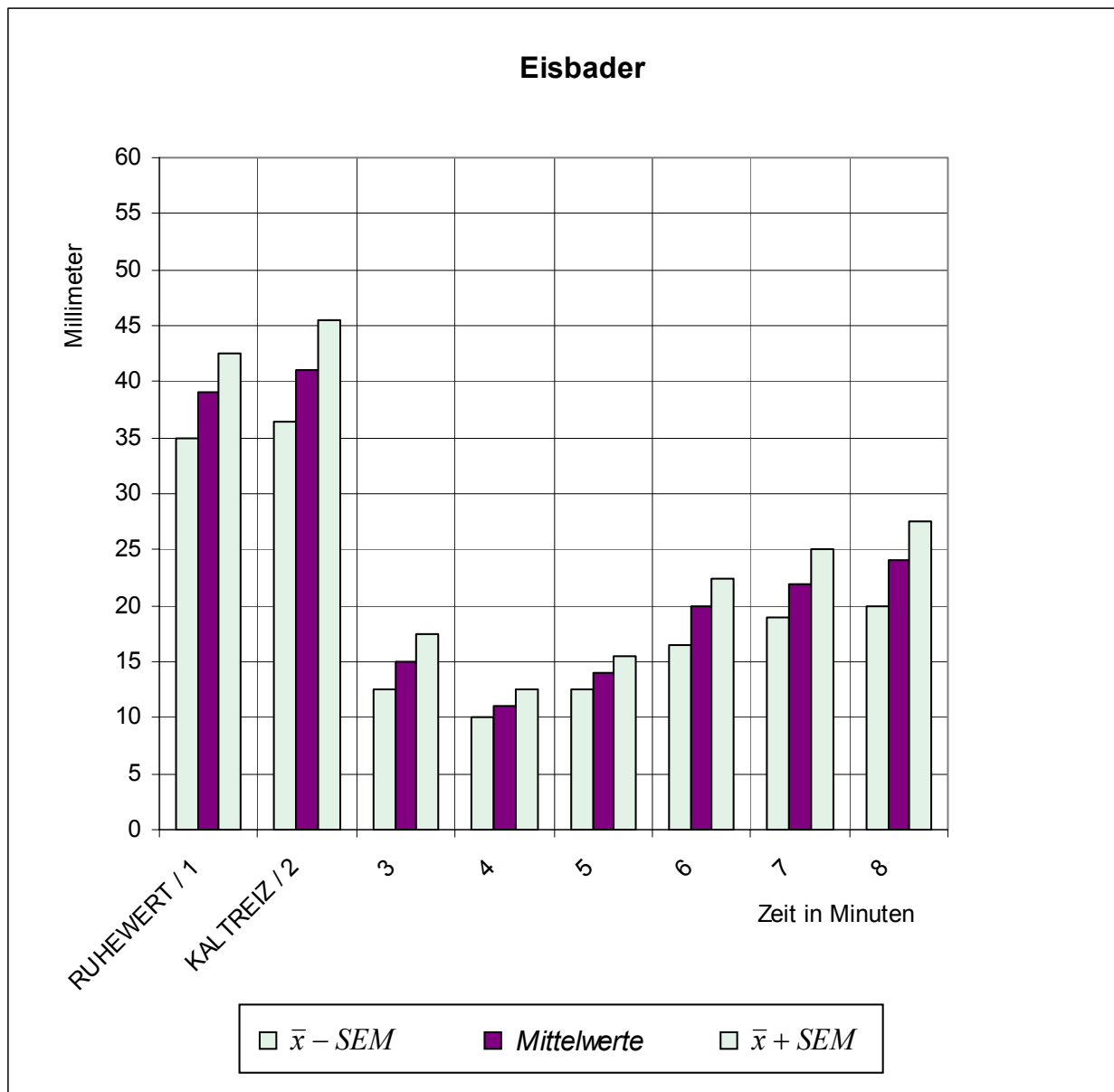


Abbildung 23: Durchblutung am Mittelfinger der Winterschwimmer: **Anders** als bei den Saunagängern und Kontrollpersonen steigt sie **während** des Kaltreizes an; nach dessen Beendigung **signifikanter** Rückgang;  $n = 15$ .

Im Gegensatz zu den bereits beschriebenen Personengruppen weisen die Winterschwimmer in dieser Versuchsreihe *keine Ab-, sondern eine Zunahme der Durchblutung während des Eiswasserbades* auf!

Nach Beendigung des Kaltreizes fällt die Durchblutung aber auch hier *signifikant ab*, wie die Abbildung 23 zeigt. Während der 5. und 6. Minute setzt dann der Durchblutungsanstieg ein.

### 5.3.2. Die Amplitude der Vasomotion am Mittelfinger

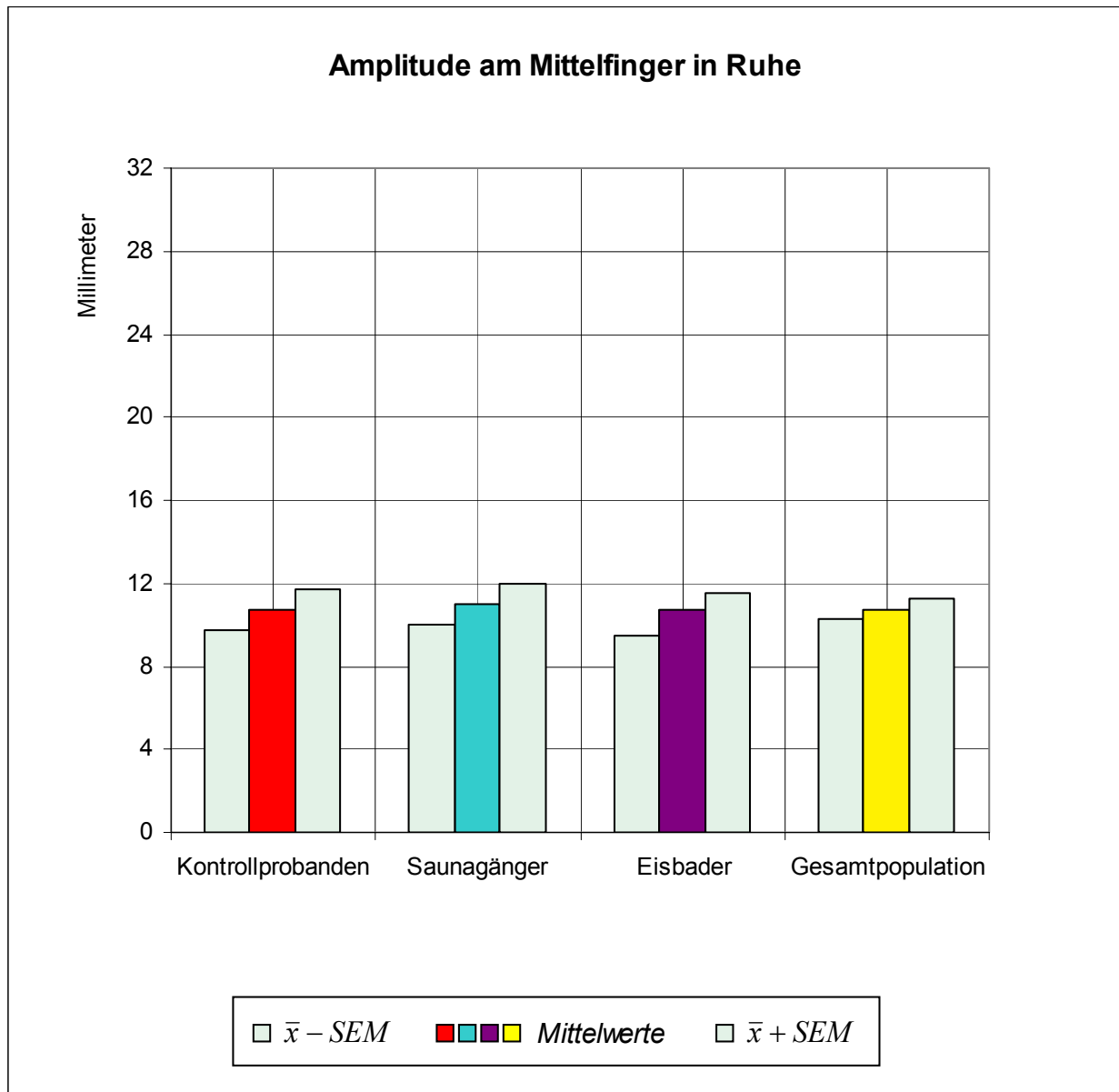


Abbildung 24: Den größten Ausgangsrühewert der Amplituden von Vasomotorik und Vasomotion am Mittelfinger der drei Probandengruppen zeigen die Saunagänger;  $n = 45$ .

Die akrale Vasomotionsamplitude in Ruhe ist gemäß Abbildung 24 bei den Saunagängern am größten. Die beiden anderen Probandengruppen bieten am Mittelfinger ähnliche Amplituden. Eine gesonderte Betrachtung erfordert die 3. Minute bei allen Amplitudenmessungen.

Die akralen Versuche zeigen besonders deutlich, wie unmittelbar nach Kaltreizende die Durchblutung stark zurückgeht. In dieser 3. Minute wird also die Vasomotion von der

Gefäßkonstriktion überlagert. Damit steigt aber die Amplitude, definiert als Differenz zwischen Maximum und 2. Minimum einer Vasomotionswelle in Millimetern (siehe Kap. 4.6.).

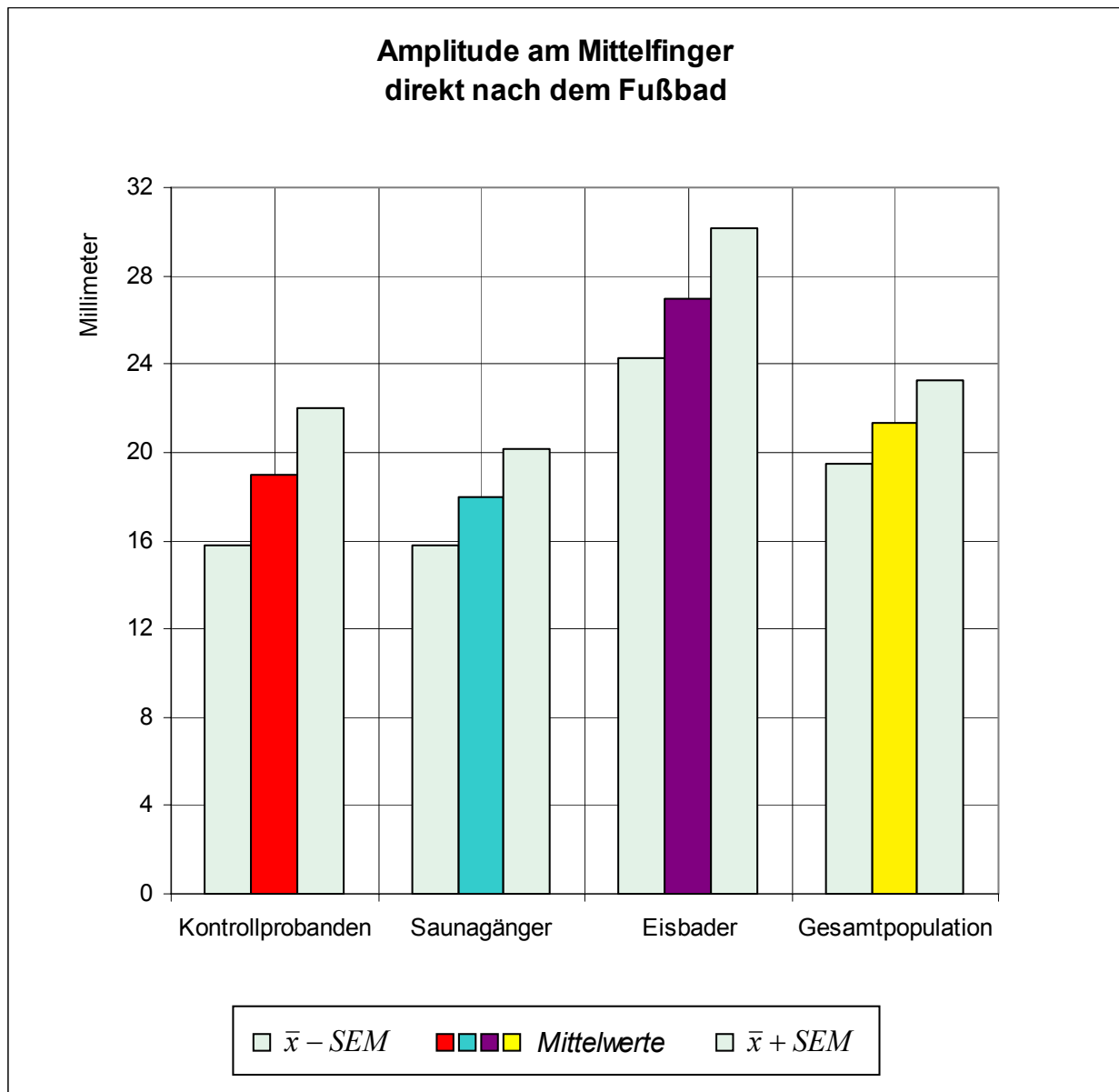


Abbildung 25: Die Vasokonstriktion während der Minute nach dem Herausnehmen des Mittelfingers aus dem Eisschmelzwasser fällt bei den Winterschwimmern **signifikant größer** aus, erkennbar hier an der größeren Amplitude;  $n = 45$ .

Gemessen an den Ruhewerten stellt die Abbildung 25 ein deutlich geändertes Verhältnis dar: Im Gruppenvergleich ist die Amplitude am Mittelfinger in der 3. Minute bei den Winterschwimmern signifikant größer als bei den Saunagängern. Zu diesem Zeitpunkt ist das Eisschmelzwasserbad gerade beendet und die einsetzende vasomotorische Konstriktion ruft die große Amplitude hervor.

Die Betrachtung der einzelnen Probandengruppen zeigt, daß mit dem Eisschmelzwasserbad bei den Kontrollpersonen die Amplitude größer wird und nach dessen Beendigung bedingt durch Vasomotorik weiter ansteigt. Während der 5. Minute besteht nach signifikantem Abfall ein Amplitudenminimum ( siehe Abbildung 26).

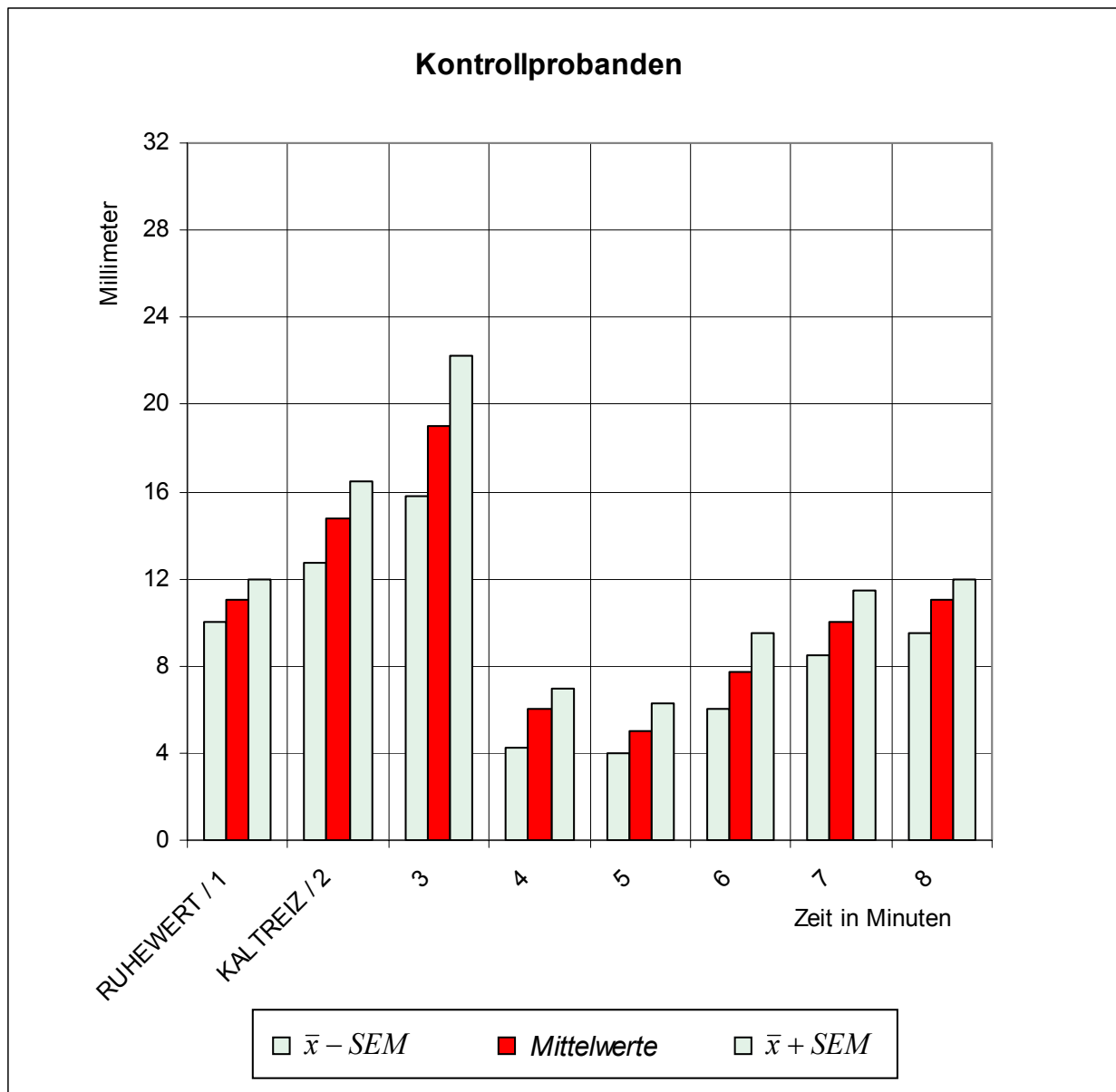


Abbildung 26: Amplitude am Mittelfinger der Kontrollpersonen: Sie **steigt** mit dem Kaltreiz, dann weiter nach dessen Beendigung und **fällt** anschließend **signifikant** ab; Amplitudenminimum erst in der 5. Minute;  $n = 15$ .

Anschließend vergrößert sich die Amplitude wieder und erreicht in der 8. Minute den Ruhewert. Die Ausgangsamplitude am Mittelfinger der Saunagänger vor dem Kaltreiz und der Anstieg

während des Eisschmelzwasserbades entsprechen weitgehend den Verhältnissen bei den Kontrollpersonen.

Nach dem Reiz wird die Amplitude, wie schon mehrfach erwähnt, *vasomotorisch bedingt größer* und fällt während der 4. registrierten Minute signifikant auf ein Minimum (Abb. 27). Von der 5. Minute an werden die Amplituden wieder größer.

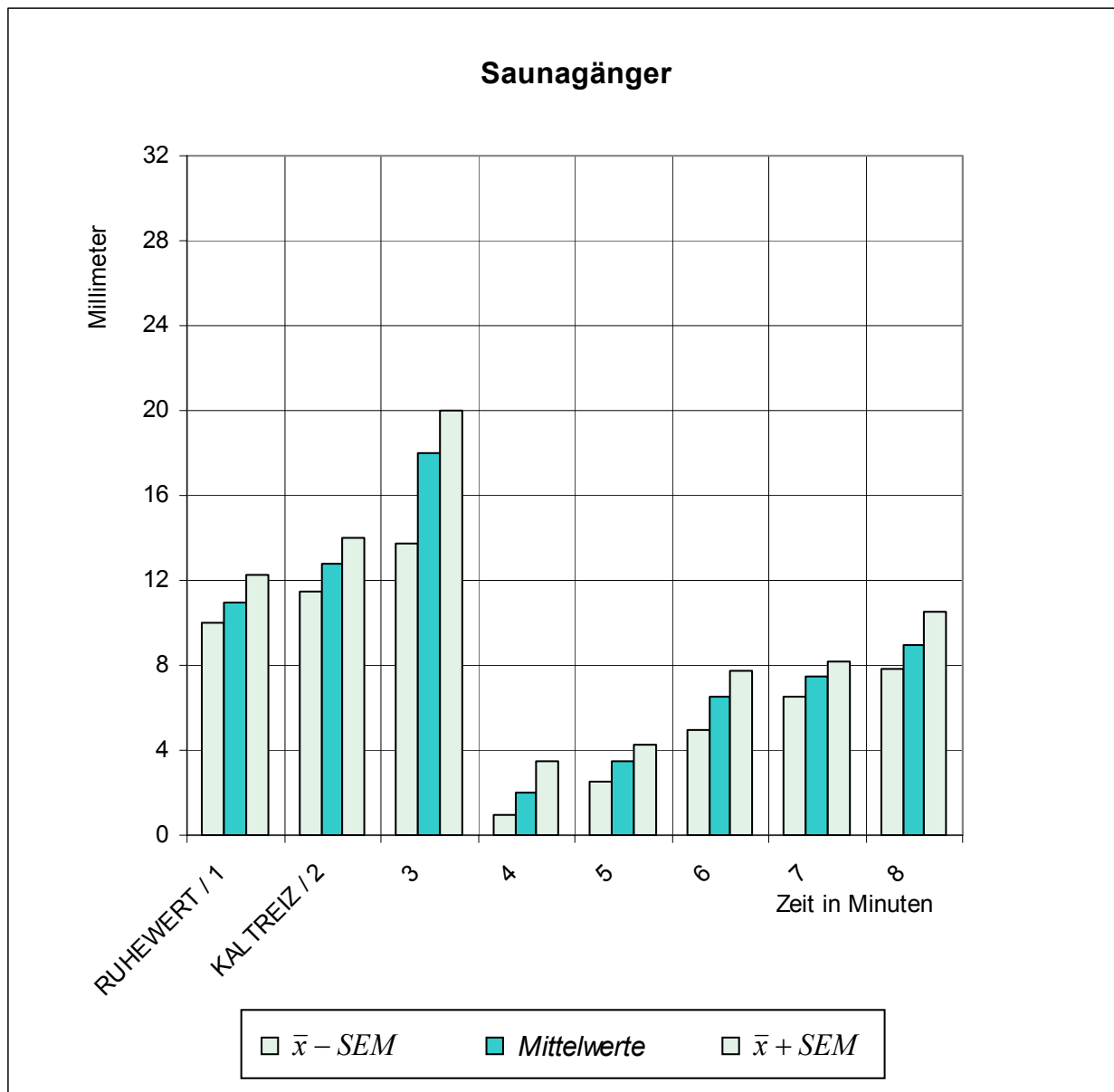


Abbildung 27: Amplitude am Mittelfinger der Saunagänger: Wieder Anstieg **während und nach** dem Kaltreiz, in der 4. Minute nach Versuchsbeginn zeigen die Saunagänger die **kleinste** Amplitude;  $n = 15$ .



Die Winterschwimmer weisen am Mittelfinger in Ruhe eine den anderen Probandengruppen weitgehend ähnliche Amplitude auf. Ihr Anstieg während des Eisschmelzwasserbades ist dann stärker, aber im Gruppenvergleich nicht signifikant unterschiedlich.

Nach einem starken – wie schon beschrieben *vasomotorisch bedingten* – weiteren Anstieg der Amplitude sinkt sie während der 4. aufgenommenen Minute signifikant ab und wird anschließend wieder größer (Abb. 28).

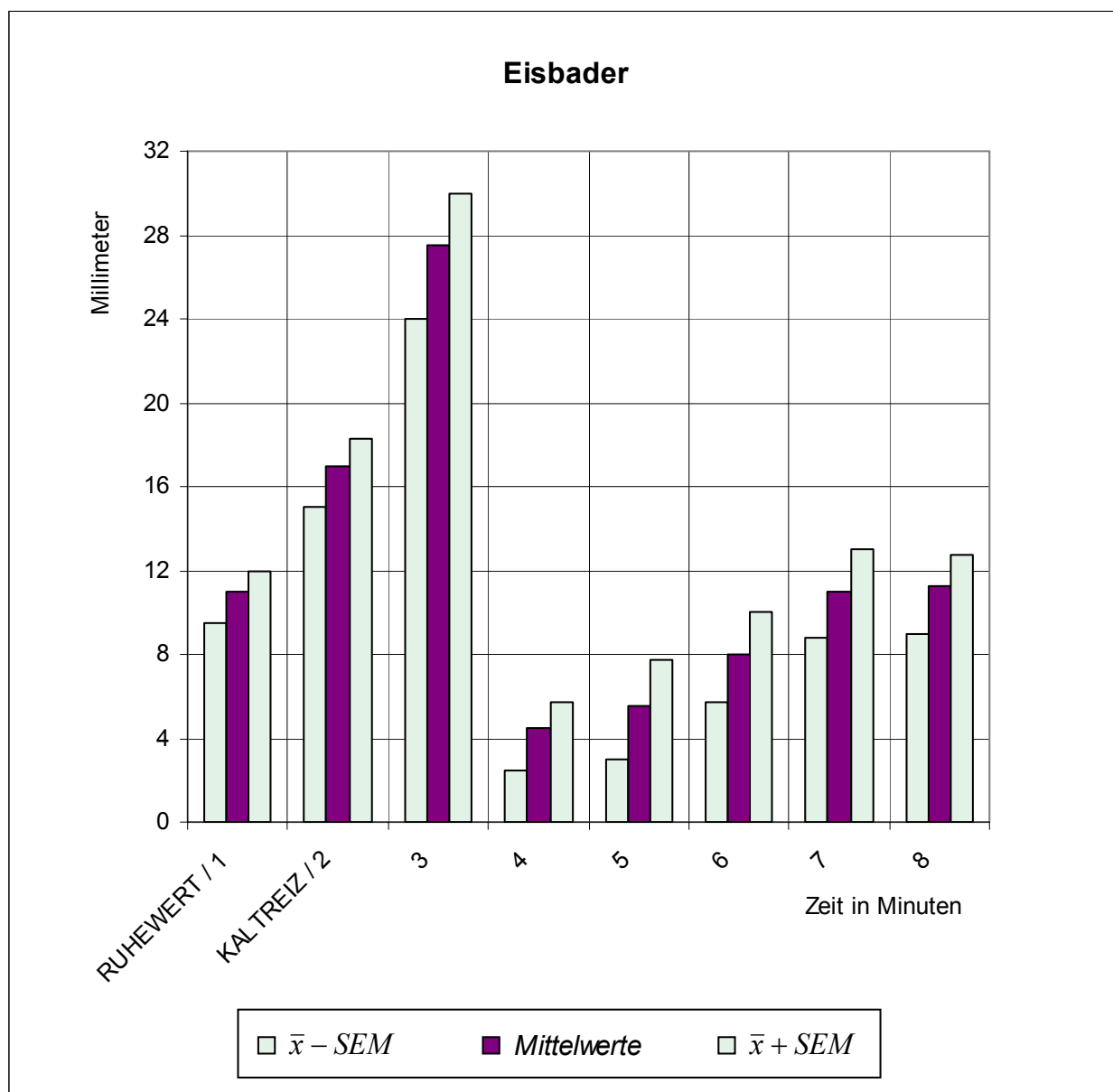


Abbildung 28: Amplitude am Mittelfinger der Winterschwimmer: **Prinzipiell gleicher** Verlauf wie bei den Saunagängern; die Winterschwimmer reagieren jedoch **heftiger** und ihre Amplitude erreicht schneller den Ruhewert;  $n = 15$ .

### 5.3.3. Die Frequenz der Vasomotion am Mittelfinger

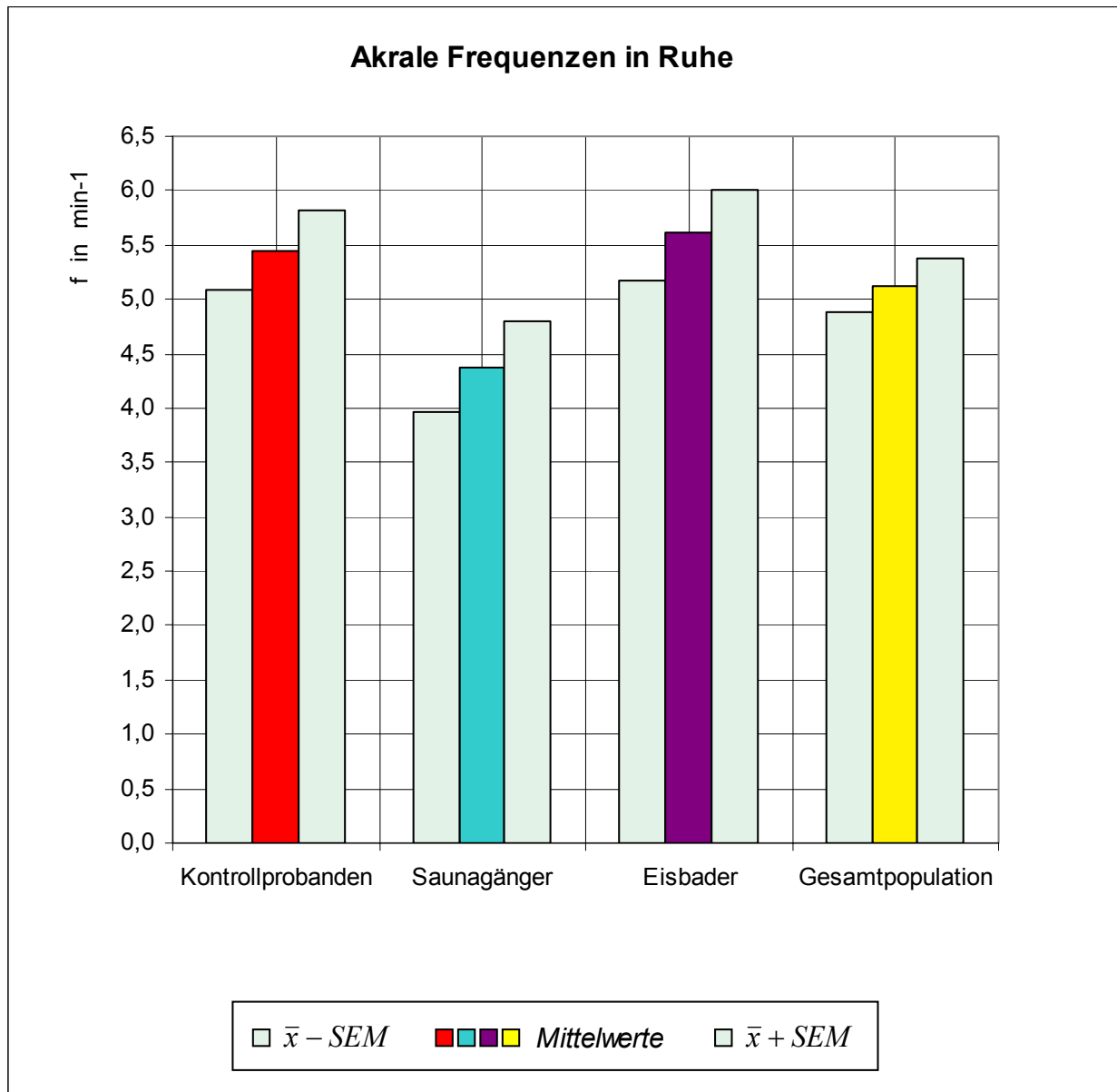


Abbildung 29: Ausgangsfrequenz am Mittelfinger für alle drei Probandengruppen: **Die der an wechselwarme Reize gewöhnten Saunagänger liegt deutlich niedriger als bei den anderen Gruppen**;  $n = 45$ .

Die Abbildung 29 veranschaulicht die Ruhefrequenzen am rechten Mittelfinger aller Versuchspersonengruppen. Bei diesen Ausgangswerten unterschreiten die Saunagänger sowohl die Vasomotionsfrequenz der Kontrollpersonen als auch die der Winterschwimmer deutlich, allerdings nicht signifikant.

Bei den Kontrollpersonen ändert sich die Frequenz während des Eisschmelzwasserbades nur unwesentlich (Abb. 30). Nach dessen Beendigung sinkt die Frequenz und erreicht in der 4. registrierten Minute ihr Minimum. Bis zur 6. Minute wird sie wieder größer, stagniert dann aber und ist während der 8. Minute etwa halb so groß wie in Ruhe.

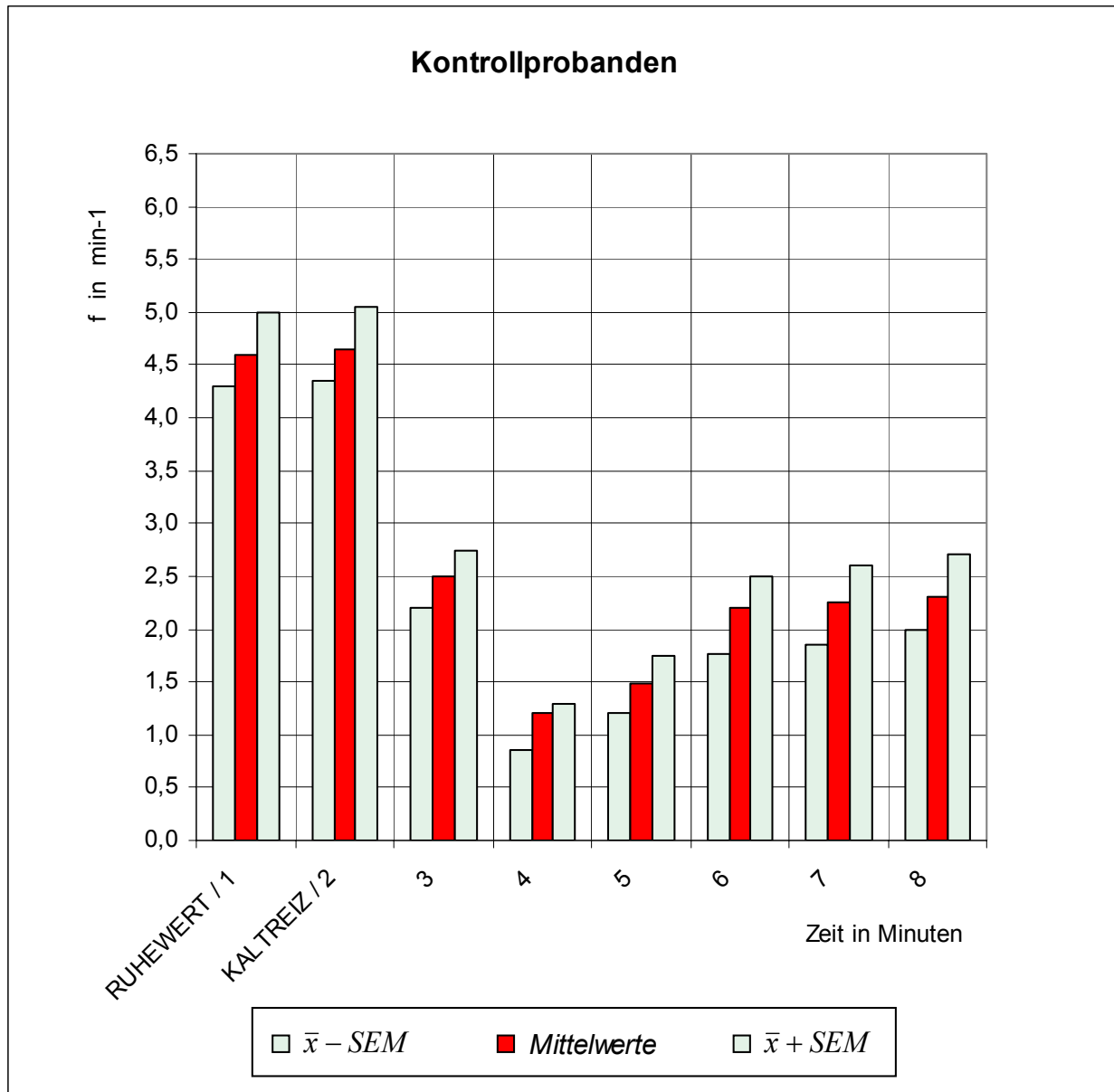


Abbildung 30: Frequenz der Vasomotion am Mittelfinger der Kontrollpersonen: Während des Kaltreizes nahezu gleich dem Ruhewert; das Minimum fällt in der vierten Minute nach Versuchsbeginn auf. Die Ausgangsfrequenz wird nicht wieder erreicht;  $n = 15$ .

Die Saunagänger bieten die kleinste Ruhefrequenz am rechten Mittelfinger, die sich während des Fingerbades im Eisschmelzwasser dann auf das Maximum aller in dieser Versuchsreihe gemessenen Mittelwerte der Vasomotionsfrequenz erhöht.

Im Gegensatz dazu folgt dann während der 3. und 4. registrierten Minute ein steiler Abfall auf die *kleinste Frequenz im Gruppenvergleich*. Anschließend zeigt Abbildung 31 einen stetigen Wiederanstieg.

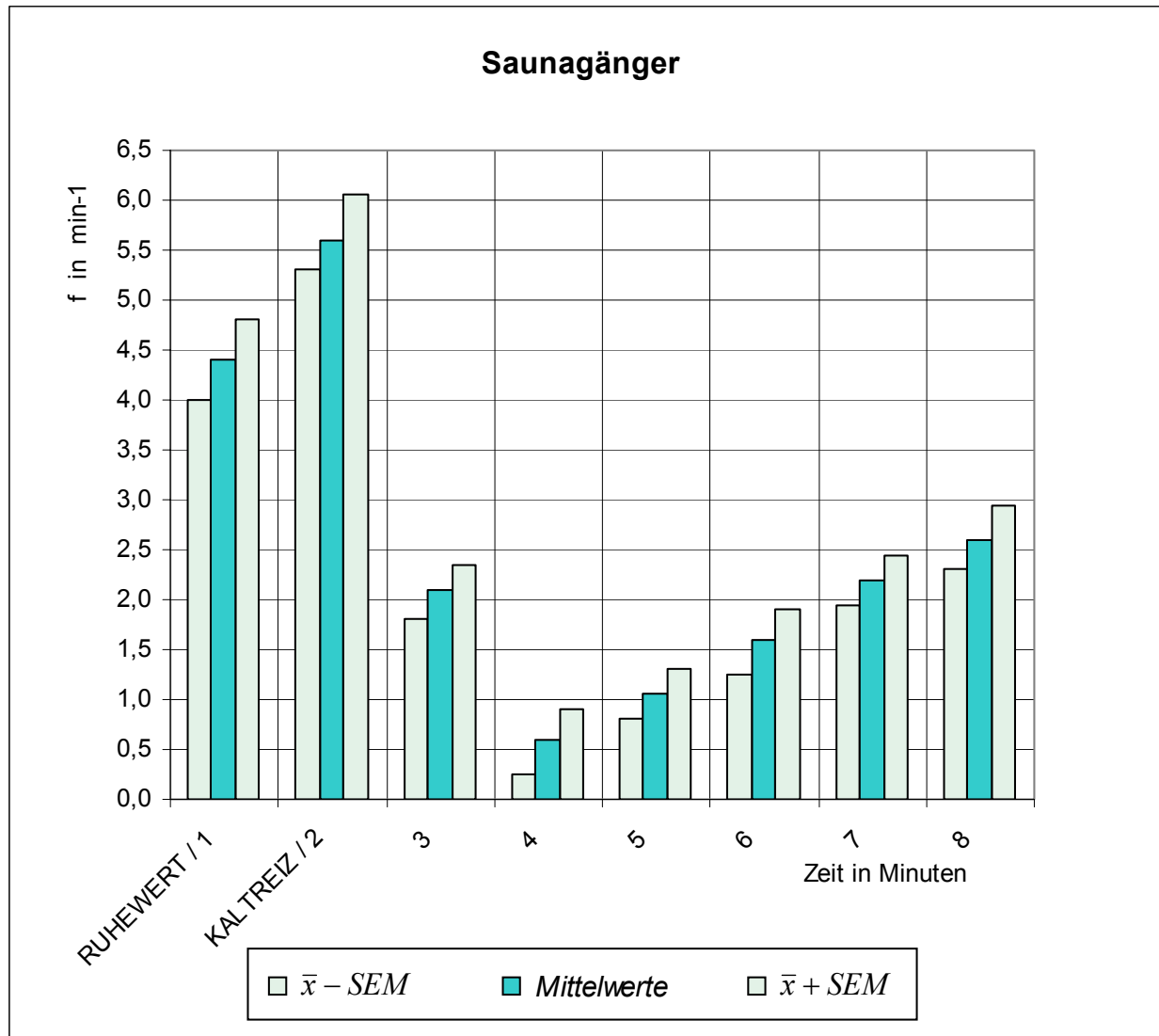


Abbildung 31: Akrale (d.h. am Zeigefinger gemessene) Frequenzen der Saunagänger;  $n = 15$ .

Die Gruppe der *Winterschwimmer* hat die *höchste Ruhefrequenz der Vasomotion am Mittelfinger*. Sie verlangsamt sich leicht während des Kaltreizes. Ähnlich den Saunagängern und Kontrollpersonen fällt die Frequenz nach Beendigung des Eisschmelzwasserbades am Mittelfinger steil bis zur 4. registrierten Minute ab. Auch der wie bei den anderen Personengruppen dann langsam einsetzende Frequenzanstieg geht aus Abbildung 32 hervor.

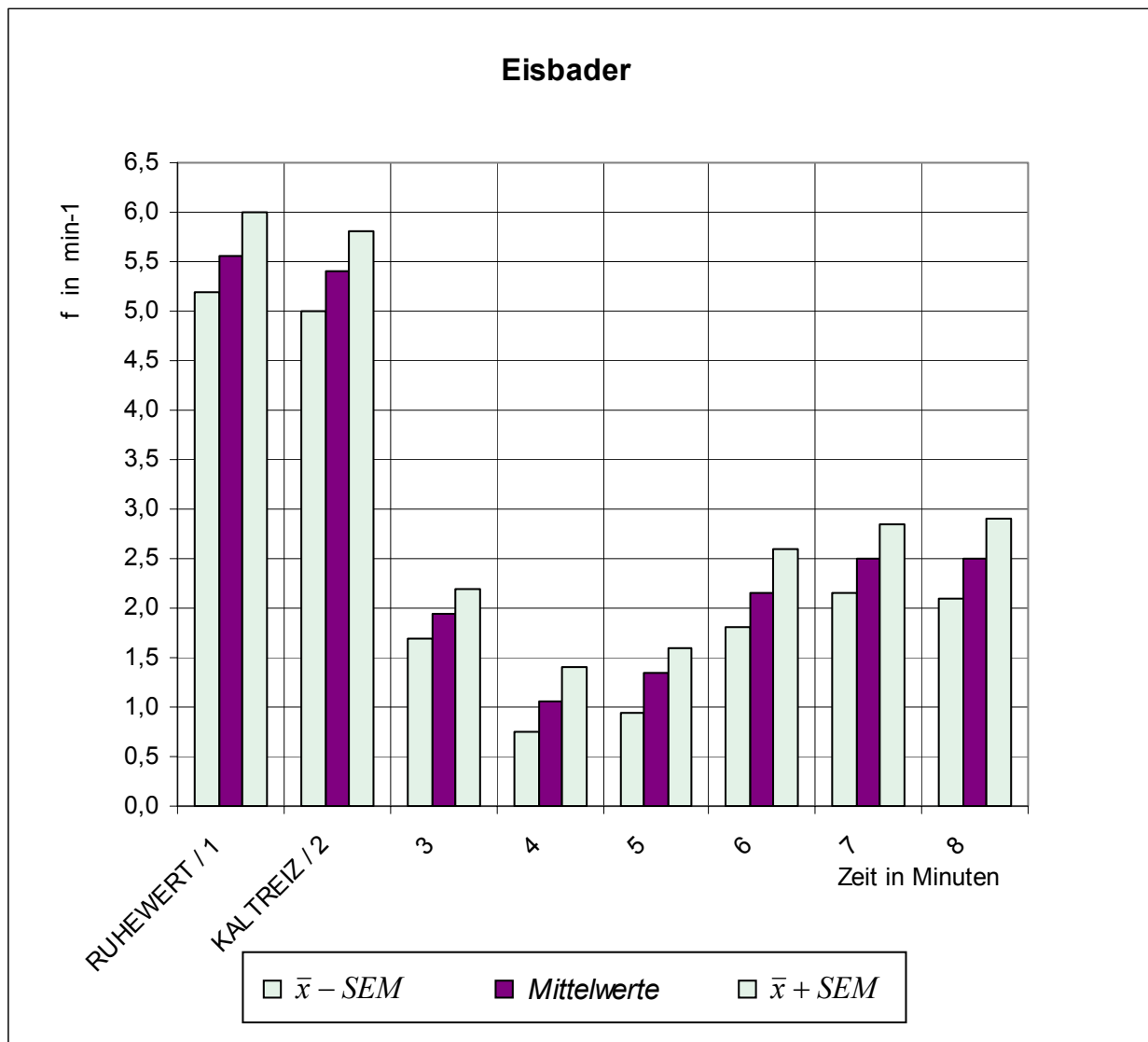


Abbildung 32: Akrale (d.h. am Zeigefinger gemessene) Frequenzen der Winterschwimmer;  $n = 15$ .

#### 5.4. Akrale Wiedererwärmung am Zeigefinger von Kontrollpersonen, Saunagängern und Winterschwimmern

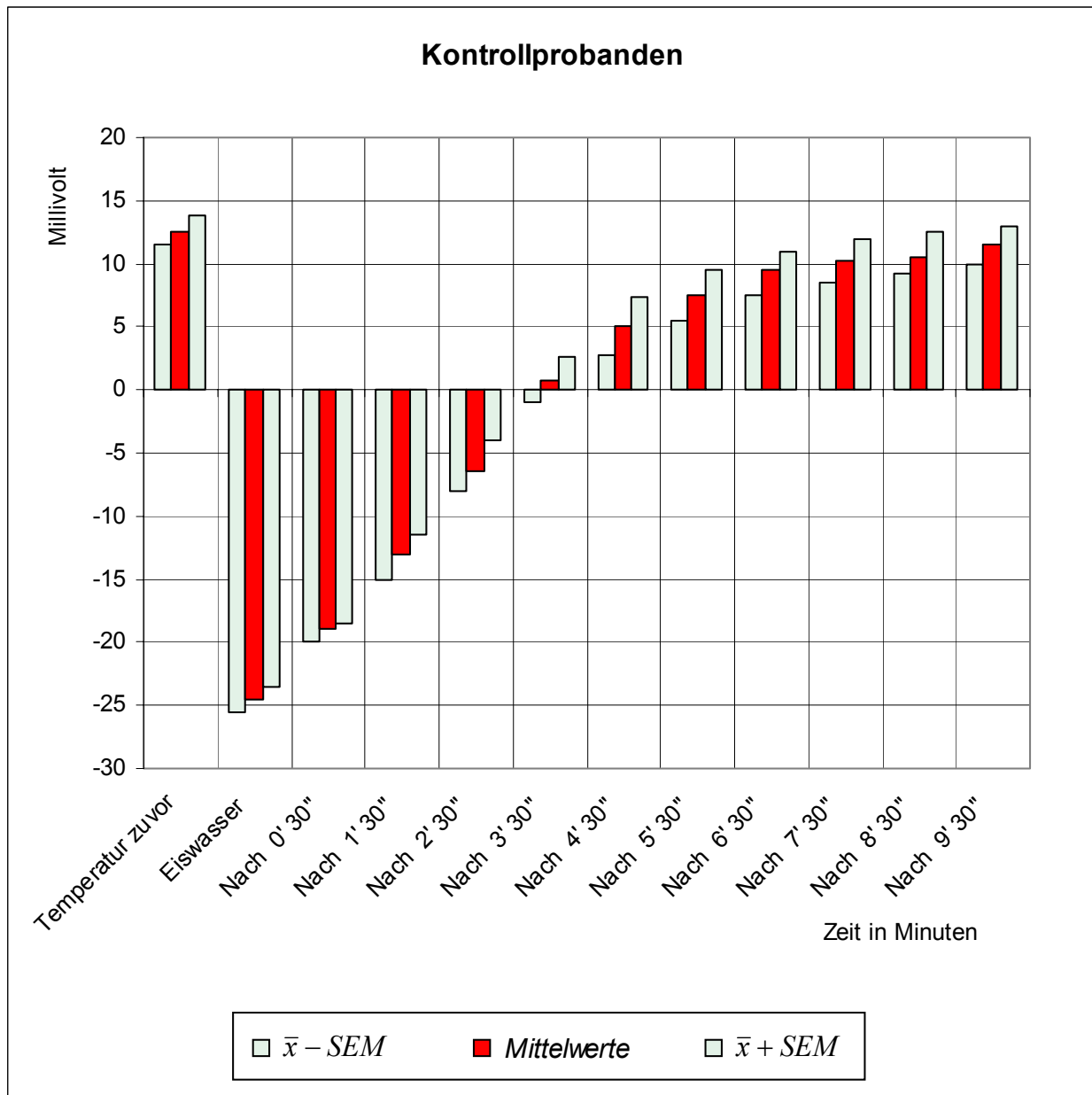


Abbildung 33: Am Zeigefinger der Kontrollpersonen **relativ in Millivolt gemessene Temperatur** vor, während und nach einem Fingerbad im Eisschmelzwasser: signifikanter Abfall **schon während** des Eisschmelzwasserbades, danach kontinuierlicher Anstieg;  $n = 15$ .

An dieser Stelle sei nochmals auf die Ordinateneinteilung der Säulendiagramme bei der Darstellung akraler Temperaturen hingewiesen: Die gemessenen relativen Werte in Millivolt entsprechen nicht der Gradeinteilung, daher haben die meßtechnisch bedingten im Diagramm abgebildeten negativen Werte auch nicht die Bedeutung etwa von Minusgraden.

Abbildung 33 zeigt die lokale Wiedererwärmungsreaktion auf das einminütige Eisschmelzwasserbad am Zeigefinger der Kontrollpersonen. Es kommt während des Kaltreizes zum signifikanten Temperaturabfall und danach zur kontinuierlichen akralen Wiedererwärmung.

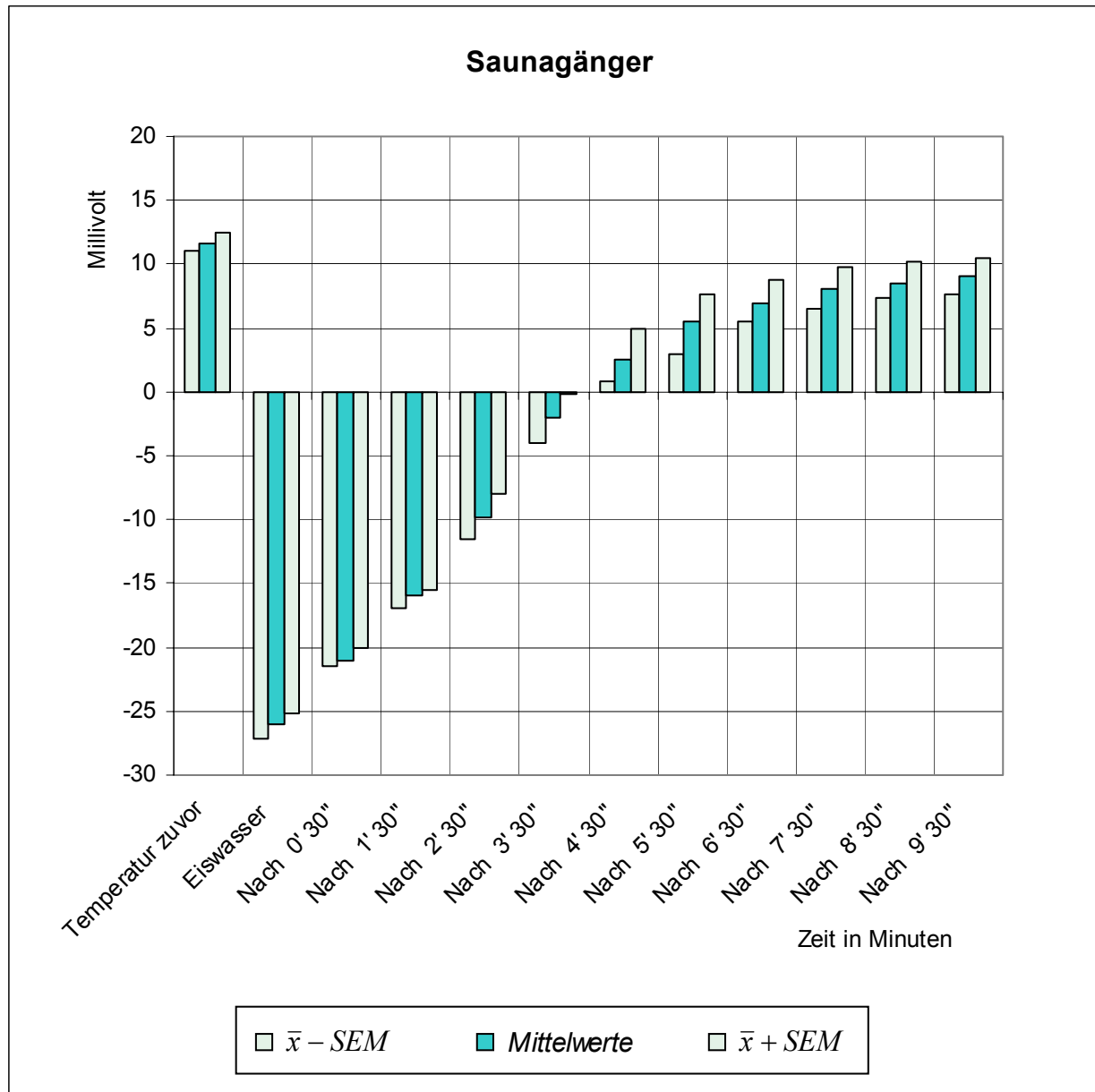


Abbildung 34: Akrale Wiedererwärmung am Zeigefinger der Saunagänger, gemessen in Millivolt: Wieder **signifikanter Abfall** mit dem Eisschmelzwasser, danach kontinuierlicher Anstieg;  $n = 15$ .

Die akrale Temperatur der Saunagänger (Abb. 34) fällt mit dem Eisschmelzwasserbad auf einen niedrigeren Wert als die der Kontrollpersonen. Nach dessen Beendigung erfolgt die akrale Wiedererwärmung im Vergleich zur Kontrollgruppe zwar etwa gleich schnell, aber auf

niedrigerem Niveau. Diese nicht signifikante Differenz zwischen Saunagängern und Kontrollpersonen bleibt während des gesamten Meßzeitraumes bestehen.

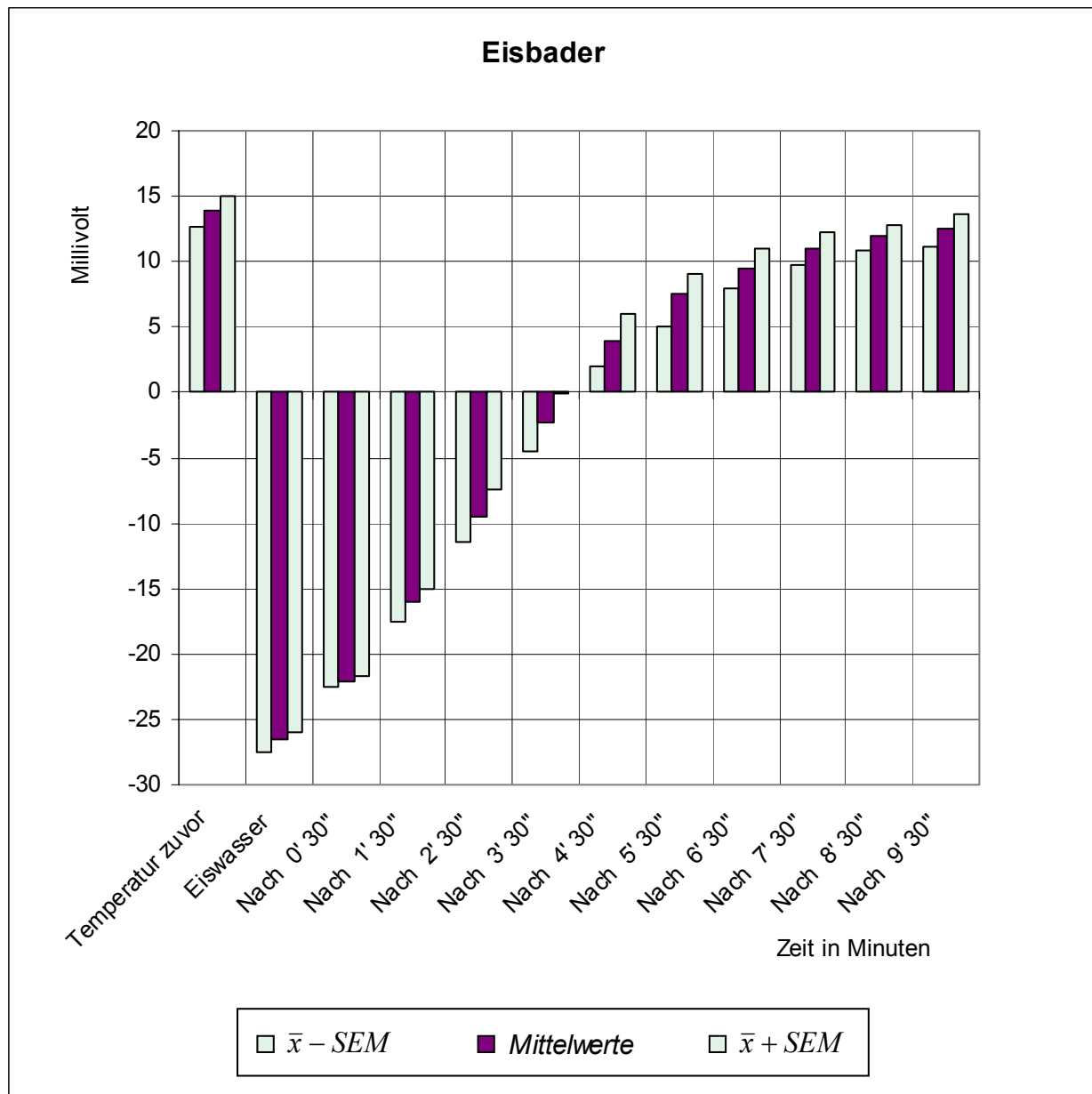


Abbildung 35: Wiedererwärmung bei den gewohnheitsmäßigen Eisbadern;  $n = 15$ .

Die Winterschwimmer (Abb. 35) weisen bei nicht signifikant höherer Ausgangstemperatur einen stärkeren Abfall während des Eisschmelzwasserbades auf. *Interindividuell gibt es nur einen einzigen Zeitpunkt signifikant unterschiedlicher akraler Wiedererwärmung*, den Abbildung 37 veranschaulicht: 30 Sekunden nach dem Herausnehmen aus dem Eisschmelzwasser ist der Zeigefinger der Eisbader signifikant kälter als der der Kontrollpersonen.



Dabei ist zu berücksichtigen, daß die *Winterschwimmer im Vergleich mit den anderen Probandengruppen die höchste akrale Ausgangstemperatur aufweisen* (Abb. 36).

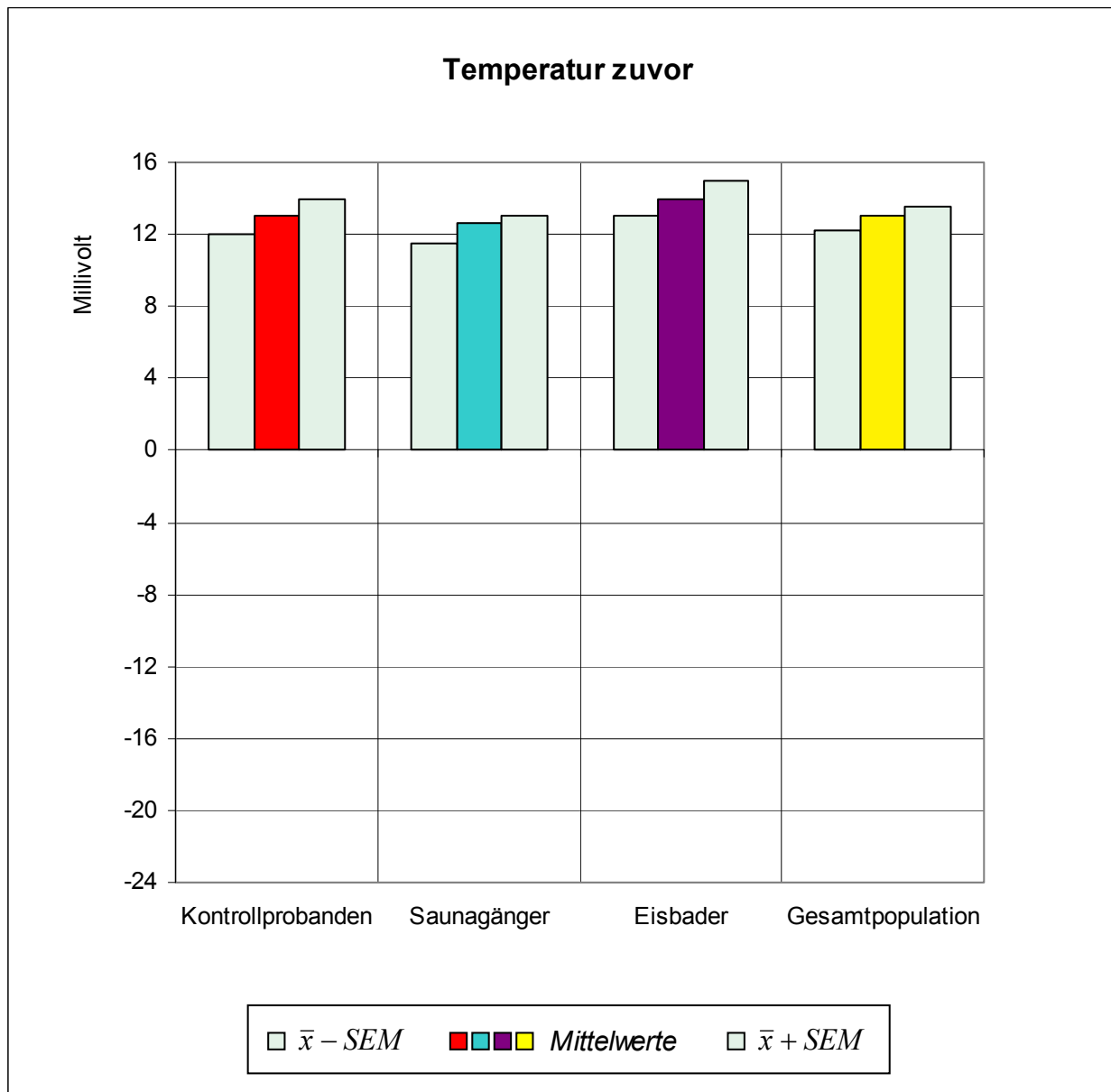


Abbildung 36: Akrale Ausgangstemperaturen im Gruppenvergleich;  $n = 45$ .

Verfolgt man die *akrale Wiedererwärmungsreaktion im Gruppenvergleich weiter, erfolgt sie bei den Winterschwimmern eindeutig am schnellsten*.

4 Minuten nach Beendigung des Kaltreizes haben sie die Saunagänger „eingeholt“ (Abb. 38) und nach 7 Minuten auch die Kontrollgruppe (Abb. 39).

Alle Probandengruppen zeigen dann 10 Minuten nach Kaltreizende eine dem Ruhewert vergleichbare Temperatur (Abb. 36 und 40).

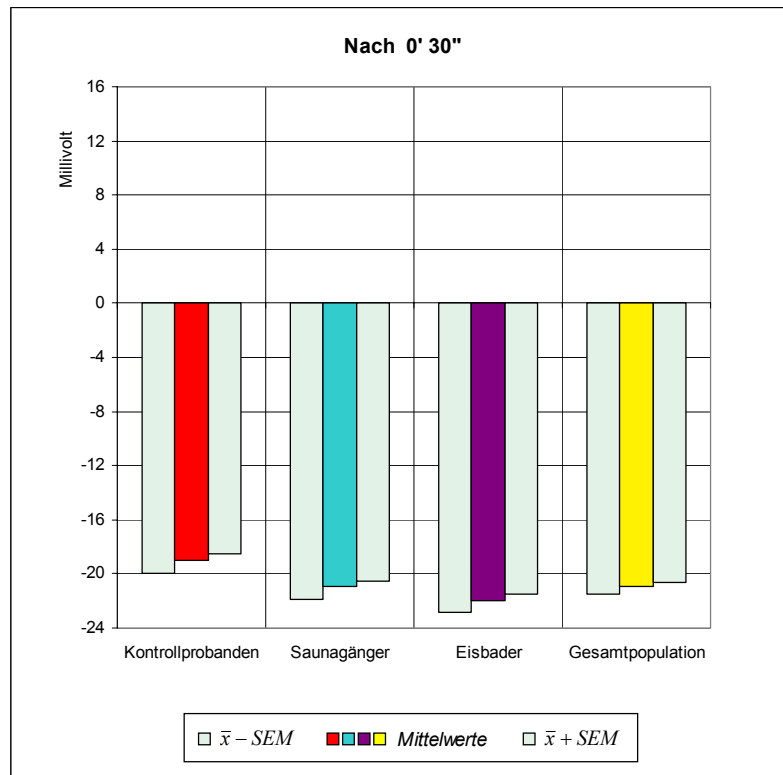


Abbildung 37: Akrale Wiedererwärmung im Gruppenvergleich 30 Sekunden nach Beendigung des Fingerbades im Eisschmelzwasser;  $n = 45$ .

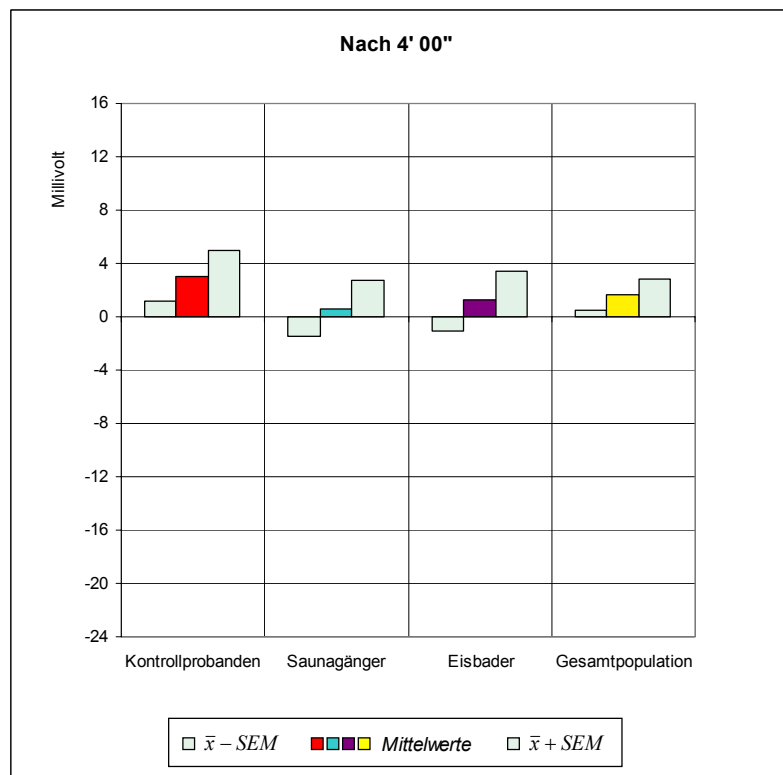


Abbildung 38: Akrale Wiedererwärmung im Gruppenvergleich 4 Minuten nach Beendigung des Fingerbades im Eisschmelzwasser;  $n = 45$ .

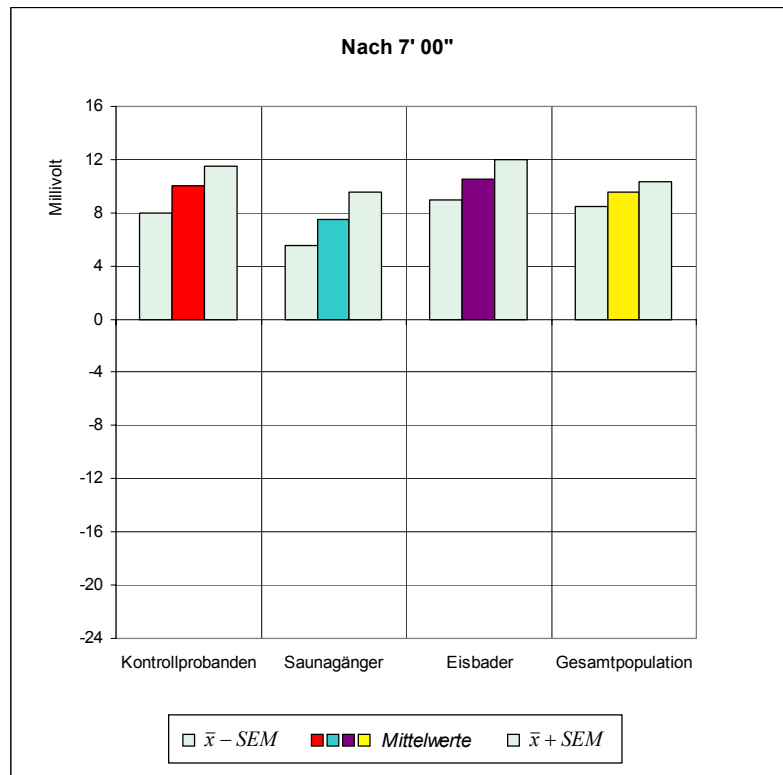


Abbildung 39: Akrale Wiedererwärmung im Gruppenvergleich 7 Minuten nach Beendigung des Fingerbades im Eisschmelzwasser;  $n = 45$ .

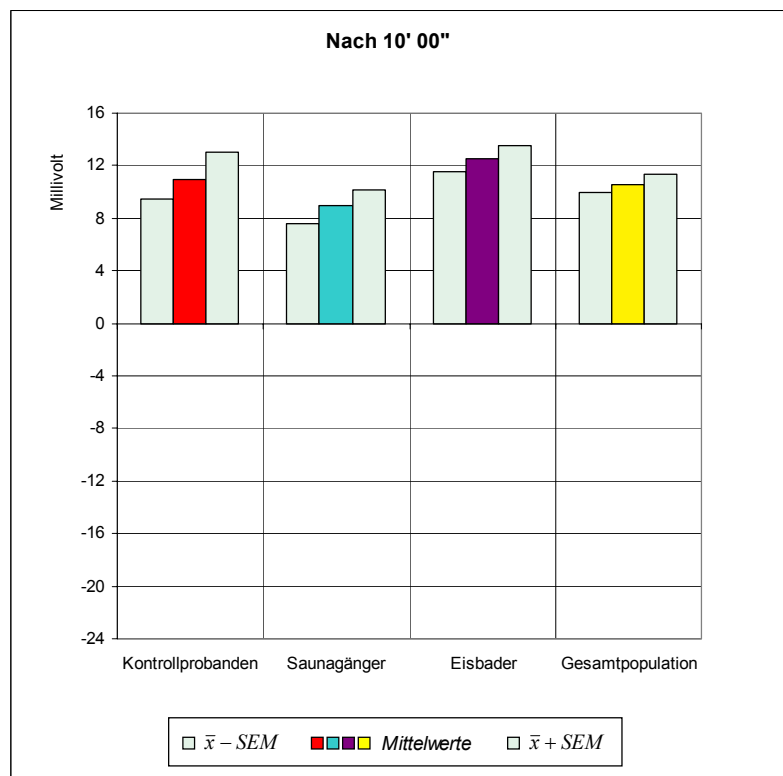


Abbildung 40: Akrale Wiedererwärmung im Gruppenvergleich zehn Minuten nach Beendigung des Fingerbades im Eisschmelzwasser;  $n = 45$ .

## 6. Diskussion

### 6.1. Die Messung, Regelung und Abhärtung des Kreislaufes

Die vorliegende Arbeit weist ein für die "Abhärtung" genannte allgemeine Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten *unspezifisches* Korrelat nach. Dazu eignet sich die Untersuchung von Personengruppen, die jeweils eine von verschiedenen physikalischen Abhärtungsmaßnahmen gewohnheits- und regelmäßig halb- oder ganzjährig mindestens wöchentlich anwenden. Betrachtet werden hier untrainierte Kontrollpersonen im Vergleich mit an wechselwarme (Saunagänger) sowie an intensive Kaltreize (Eisbader oder auch Winterschwimmer genannte) gewöhnte Probanden.

Mit der Laser-Doppler-Flowmetrie existiert ein Meßverfahren, das in Bezug auf Änderungen der Hautdurchblutung erheblich rascher reagiert als ältere Verfahren wie Nagelbettmikroskopie, Thermographie, Plethysmographie, Thermometrie oder Xenon-Muskelclearance. Die Dopplermethode erfaßt die Vasomotion der kutanen Gefäße ebenso wie die der Thermoregulation dienende Vasomotorik.

Betrachtet man die Widerstandsverteilung im Körperkreislauf, entfallen 47 % auf kleine Arterien und Arteriolen, 27 % auf die Kapillaren, 19 % auf Arterien und 7 % auf die Venen. Umgekehrt stellen hinsichtlich der Volumenverteilung das venöse System 64 % und nur 5 % die Kapillaren dar. Ferner sind mit je 7 % die großen Arterien und das Herz in der Diastole beteiligt, zu 8 % kleine Arterien und Arteriolen sowie 9 % der Lungenkreislauf. Die kleinen Arterien und Arteriolen stellen fast 50 % des totalen peripheren Widerstandes dar, denn bekanntermaßen führt nach HAGEN-POISEUILLE eine Radiusabnahme von nur 16 % zur Verdopplung des Widerstandes. Die Kapillaren hingegen haben zwar einen noch kleineren Radius bzw. einen viel höheren Widerstand als die Arteriolen, jedoch ist ihre Gesamtzahl derart hoch, daß ihr Anteil am totalen peripheren Widerstand doch 27 % beträgt. Die Kapillaren und postkapilläre Venolen bewerkstelligen den Stoff- und Flüssigkeitsaustausch durch sehr niedrige Strömungsgeschwindigkeit, minimaler Wandstärke und extremer Gesamtoberfläche von etwa 1000 m<sup>2</sup> (SILBERNAGL et al. 2001).

Bei der Abhärtung infolge thermischer Reize nehmen akrale Durchblutungsänderungen die Schlüsselstellung ein, vermittelt insbesondere durch den hohen Anteil glatter Muskelzellen in

den Terminalarterien und Arteriolen. Mittels dieser Muskulatur wird der Gefäßdurchmesser eingestellt, hier kommt es zu den größten Druckabfällen im Kreislaufsystem. Die neuronale Kontrolle der Durchblutung setzt vor allem an den kleinen Arterien und den größeren Arteriolen an, die Regelung des venösen Rückstroms zum Herzen hingegen an den Venen mittels Änderung ihrer Blutspeicherkapazität. Beides läuft meist über den Sympathikus ab, wobei der postganglionäre Transmitter (mit Ausnahme der Schweißdrüsen) das Noradrenalin ist. Es bindet an die  $\alpha$ -1-Adrenorezeptoren der Gefäße und wirkt damit vasokonstriktorisch. Eine Vasodilatation wird durch Nachlassen des Sympathikotonus erreicht.

Die neuronale Koordination der Organdurchblutung erfolgt prinzipiell hauptsächlich auf zwei Wegen: a) über eine zentrale Mitinnervation - beispielsweise geht bei einer Aktivierung einer Muskelgruppe von der Hirnrinde gleichzeitig ein Impuls zu den Kreislaufzentren - oder b) über eine neuronale Rückmeldung von den Organen, deren Aktivität und Stoffwechsel sich geändert haben. Stehen neuronale und lokal-metabolische Einflüsse im Widerstreit, z.B. bei der Sympathikuserregung während der Skelettmuskelarbeit, überwiegen die metabolischen Einflüsse, sodaß es im tätigen Muskel zur Vasodilatation kommt, während in der restlichen Muskulatur der Sympathikus die Durchblutung drosselt (SILBERNAGL et al. 2001).

Die Durchblutung der Haut wird vorwiegend neuronal reguliert und steht einerseits im Dienste der Thermoregulation, andererseits werden die Hautgefäße bei Volumenmangel stark verengt, um die Versorgung lebenswichtiger Organe zu erhöhen, was bei Kreislaufzentralisation als Blässe imponiert. Bei starker Kälte wird die thermisch bedingte Vasokonstriktion der Haut periodisch unterbrochen, um Gewebsschäden zu vermeiden (LEWIS 1930). Hier spielen sogenannte Axonreflexe eine Rolle: Ein afferenter Impuls von der Haut geht dabei noch in der Peripherie auf efferente Gefäßnerven über (auf gleichem Wege entsteht ferner auch der Dermographismus).

Man hat die Kälte-dilatation als eine Schutzfunktion angesehen, die die Folgen einer anhaltenden mangelhaften Gewebsdurchblutung (Nekrosenbildung) verhindert. Allerdings kann sie nach KEATINGE et al. (1965) zu einer verhängnisvollen Beschleunigung der allgemeinen Auskühlung führen, wenn sie z.B. bei Schiffbrüchigen auftritt, die längere Zeit in kaltem Wasser schwimmen. Abgesehen davon lehrt die Praxis, daß trotz Kältevasodilatation bei entsprechender Kältebelastung schwere lokale Frostschäden auftreten. Interessanterweise greift ihre

Schutzfunktion erst bei kältengewohnten Menschen durch – diese Beobachtung läßt schon erwarten, daß Kälteanpassung zur Ökonomisierung führt.

Das Ruhepotential der o.g. glatten Gefäßmuskelzellen unterliegt spontanen Schwankungen, die periodisch ablaufen. Größere Potentialänderungen führen zur Vasomotion, der sich über den gesamten Gefäßverlauf ausbreitenden Gefäßmuskelkontraktion. Nach WITZLEB (1985) hat ein sich rhythmisch kontrahierendes Gefäß einen deutlich geringeren Widerstand als eine starre Röhre vergleichbaren mittleren Durchmessers. Weitere Bedeutung kommt der Pumpfunktion der Vasomotion zu (dem schon im Kapitel 2.1. erwähnten "akzessorischen Herzen") auch hinsichtlich der Lymphproduktion.

Wie die motorischen Reaktionen können auch die Reizantworten des vegetativ-autonomen Systems nach Umfang, Komplexität und Spezifität verschieden sein (ROHEN 1971). Die stufenweise zunehmende Komplexität als wichtiges Organisationsprinzip des autonomen Systems, der auch die differenzierte Zeitstruktur der spontanen und reaktiven Vorgänge entspricht, geht aus der Folge der Funktionskreise hervor. Auf der untersten Stufe der peripheren Autonomie sind zunächst nur lokale Reaktionen möglich, die überwiegend trophisch-nutritive Funktionen erfüllen, wie z.B. Axonreflexe. Die funktionelle Bedeutung dieser primitiven Mechanismen ist trotz der Überlagerung durch höhere nervale und humorale Steuerungen sehr groß. Dies belegt z.B. die Prävalenz der lokal-chemischen Durchblutungsregelung gegenüber allen anderen Steuerungsfaktoren der Gefäßweite (REIN 1941, GOLENHOFEN 1962). Die starke Beteiligung chemischer Wirkstoffe wie z.B. Gewebeshormone an den afferenten wie efferenten Vorgängen der autonomen Peripherie weist zugleich auf die Möglichkeit von Fernwirkungen im Organismus hin, vor allem durch den Übertritt solcher Stoffe in die Blutbahn.

Die spinosegmentale als nächsthöhere Integrationsstufe umfaßt zahlreiche autonome Reflexmechanismen, so auch die der Vasomotorik sowie Pilomotorik. Die Reaktionen schließen zwar bereits konsensuelle Beteiligungen sowie intersegmentale und kutaneoviszzerale bzw. somatoviszzerale Koordinationen mit ein, doch funktionieren diese spinalen Mechanismen außerhalb des Einflusses höherer Regionen mehr für den lokalen und augenblicklichen Bedarf. Sie sind noch nicht in der Lage, selbständig im Sinne der vegetativen Homöostase des Gesamtorganismus zu wirken. Projektionen der spinalen Reflexkreise lassen sich aber auch bis zum zerebralen Kortex nachweisen (INGRAM 1960).

Dem Bereich der umweltchronisierten Ordnung langwelliger Rhythmen steht bei den kürzerwelligen ein anderes Ordnungsprinzip gegenüber, das auf einer wechselseitigen inneren Abstimmung der rhythmischen Vorgänge beruht. Bei dieser Koordination lassen sich Frequenz- und Phasenabstimmung nachweisen. So stehen z.B. bei den Rhythmen von Atmung und Kreislauf alle Frequenzen zueinander bevorzugt in einfachen ganzzahligen Frequenzproportionen. Beispielsweise beträgt die Periodendauer der Vasomotion 6 Sekunden und die des Pulses 1 s; dagegen weisen die arterielle Grundschrwingung eine Periodendauer von 0,4 s sowie die periphere Durchblutung oder auch höhere Atemperioden von etwa 70 s auf. Analoge Befunde liegen ferner auch für die glattmuskulären Rhythmen des Gastrointestinaltraktes vor (GOLENHOFEN 1987).

Bei den höheren Organismen ist eine Funktionsanalyse der Regelsysteme dadurch erschwert, daß innerhalb der hierarchischen Struktur des autonomen Systems die Regelkreise der verschiedenen Integrationsstufen miteinander „vermascht“ sind, d.h. Teile eines Regelkreises zugleich Teilstücke eines anderen sein können (HILDEBRANDT 1955). Auf den höheren Organisationsebenen nimmt nicht nur die Komplexität der Wirkungsgefüge zu, vielmehr wirken die höheren Integrationsstufen maßgebend auf die Regelkreise der niederen Stufen ein, indem sie deren Sollwerte bestimmen oder verstellen. Diese sogenannte Führungsgrößenaufschaltung geschieht zudem häufig in Form spontanrhythmischer oder induzierter periodischer Schwankungen. Die rückgekoppelte Kreisstruktur der Regeleinrichtungen macht alle Funktionskreise im Prinzip schwingungsfähig, sodaß sie sowohl spontane Rhythmizität als auch periodische Antworten zeigen können (DRISCHEL 1973, RENSING 1973). In diesen Kontext der spino-segmentalen Integrationsebene sind die zu betrachtende Vasomotorik und Vasomotion einzuordnen.

Der Begriff der Abhärtung ist spätestens seit den Publikationen „Meine Wasserkur“ sowie „So sollt ihr leben“ (KNEIPP 1886 und 1889) allgemein bekannt, die das Gehen im Wasser zur Kräftigung der „ganzen Natur“ und zur Verbesserung der Harnableitung empfehlen. Wissenschaftlich formuliert ist unter der Abhärtung eine wiederholte bewußte oder unbewußte Exposition des Menschen gegenüber natürlichen Reizen mit der Folge einer allgemeinen Erhöhung der Widerstandskraft gegenüber Krankheiten zu verstehen. Gemeint ist damit eine „insgesamt höhere gesundheitliche Stabilität“, also nicht nur infekthäufigkeitsbezogen (BRENKE et al. 1996).

SELYE formulierte 1950 mit der Lehre vom allgemeinen Adaptationssyndrom den „systemic stress“, der die Homöostase des menschlichen Organismus stört (SELYE 1953, s. Kap. 2.2.). In diesem Zusammenhang ist das WILDER'sche Ausgangswertgesetz zu erwähnen, wonach unter einer am vegetativen Nervensystem angreifenden Therapie vor allem diejenigen Werte korrigiert werden, die besonders weit von der gesunden Mitte abgewichen sind (WILDER 1931). Dieser normalisierende Effekt ist ein deutlicher Hinweis auf die Möglichkeit einer unabhängigen, selbständigen Reaktion des Organismus auf äußere Einflüsse (BÜHRING 1987).

## **6.2. Die Körpertemperatur als Kreislauffunktion**

Die Aufgabe der Thermoregulation ist es, die Kerntemperatur des menschlichen Organismus auf einem Sollwert konstant zu halten, der im Mittel ca. 37° C beträgt. Damit können die Körperhöhlen praktisch als homöotherm, als gleichwarm angesehen werden. Genaugenommen ist jedoch die Temperatur des Körperkerns weder zeitlich noch räumlich konstant: Nach HENSEL et al. (1973) findet man Temperaturunterschiede im Körperkern zwischen 0,2 - 1,2° C; selbst das Gehirn weist ein radiales Temperaturgefälle zur Hirnrinde auf, das mehr als 1° C beträgt.

Dagegen verhalten sich Extremitäten und Haut poikilotherm, also wechselwarm. In den Extremitäten bildet sich ein Temperaturgefälle in der Längsrichtung (axial) aus, daneben besteht ein radiales Temperaturgefälle (senkrecht zur Oberfläche). Die durch äußere Temperaturänderungen hervorgerufenen Schwankungen der Körpertemperatur sind besonders groß nahe der Körperoberfläche und an den Enden der Extremitäten (Akren).

Der Regelung der Körperkerntemperatur dienen Meßelemente, die fortlaufend den Temperaturzustand des geregelten Systems messen und dieses Meßergebnis einem zentralen Regler (ZNS) zuführen, in dem eine Verarbeitung der thermischen Informationen als Eingangsgröße stattfindet und Ausgangssignale erzeugt werden, die einen oder mehrere Stellvorgänge bzw. Stellglieder steuern. Zu letzteren zählen vor allem die Vasomotorik, die Wärmebildung und die Schweißsekretion. Sie sind so gerichtet, daß einer durch äußere und innere Störgrößen verursachten Temperaturabweichung entgegengewirkt wird. Dies entspricht einem kreisförmig geschlossenen System mit negativer Rückkopplung (BRÜCK 1985).



Die Vasomotorik als thermoregulatorisches Stellglied weist regionale Unterschiede auf, wobei die Steuerung der Akrendurchblutung, also der Hand, Nase, Ohren und Lippen, über noradrenerge sympathische Nerven erfolgt. Die alphasrezeptorenvermittelte Regulation dient der Wärmeabgabe oder der Isolation durch die Körperschale. Eine Zunahme des sympathischen Tonus geht mit einer Vasokonstriktion einher, während eine Abnahme des Tonus zur Dilatation führt.

Auch die Weite der in den distalen Extremitäten vorkommenden arteriovenösen Anastomosen wird durch den Sympathikus in gleicher Richtung wie die der Arteriolen beeinflusst. Durch die Eröffnung dieser Anastomosen wird die Durchblutung der Extremitäten und damit der konvektive Wärmetransport erheblich gesteigert. Die Ausschaltung des Sympathikus führt nach BRÜCK zu einer nahezu maximalen Dilatation an den Akren.

Im Dienste dieser Vasomotorik steht die Vasomotion, eine eigenständige, vom Herzen unabhängige Pulsation der präkapillären Arteriolen und Sphinkter. Bei der "Systole" der Vasomotion sinkt, bei ihrer "Diastole" erhöht sich der Blutkapillardruck in den 10 bis 100 von der Arteriole versorgten Kapillaren (FÖLDI et al. 1993). Sinkt die Sauerstoffkonzentration der Gewebe, sinkt auch die Frequenz der Vasomotion und die Sauerstoffversorgung der Gewebe steigt. Umgekehrt reguliert eine hohe Sauerstoffkonzentration die Vasomotionsfrequenz hoch und die Sauerstoffversorgung der Gewebe sinkt wieder. Die Vasomotion verändert sich ebenso wie die Vasomotorik bei der Temperaturregelung des Körpers und reagiert beispielsweise auf Kaltreize sowohl lokal als auch konsensuell. Die Bezeichnung konsensuelle Reaktion meint die Beziehungen zwischen thermisch beeinflusstem Hautareal und reagierendem Bereich.

Nach ERDL und SCHNIZER (1986) gilt sowohl für Abkühlung als auch für Erwärmung, daß auch an nicht exponierten Hautgebieten gleichsinnige Gefäßreaktionen als thermoregulatorische Antworten auftreten. Dieser Vorgang kann initial von thermischen Afferenzen der Haut ausgehen, wie es vor allem bei Kaltreizen als reflektorische Vasokonstriktion der Fall ist, oder infolge der Veränderung der Temperatur des rückströmenden Blutes, die dann über zentrale Thermorezeptoren die mehr oder weniger generalisierten konsensuellen Reaktionen der Hautgefäße auslöst.

Untersuchungen anderer Arbeitsgruppen lassen erkennen, daß die konsensuelle Wärmeregulierung in Abhängigkeit vom locus therapeuticus quantitativ unterschiedlich

beeinflusst wird. Während normaler Saunagänge mit einer konstanten Temperatur von 40° C und 50 % Luftfeuchtigkeit wurde beispielsweise an sieben jungen männlichen Studenten gezeigt, daß die Wärmeregulierung bei großer Hitze durch Kühlung der Stirnpartie stärker beeinflusst werden kann als durch Kühlung von Schläfen oder Hinterhaupt (KATSUURA et al. 1996). Eine Erklärung hierfür dürfte die unterschiedliche Verteilung von Kaltrezeptoren an den Akren sein.

Thermosensoren der Haut gibt es für Temperaturen unter 36° C (Kaltsensoren) und für solche über 36° C (Warmsensoren). Je niedriger die Temperatur (Bereich 36-20° C) ist, desto höher ist die Aktionspotentialfrequenz bei den Kaltsensoren; bei den Warmsensoren ist es umgekehrt (Bereich 36-43° C). Zwischen 20° C und 40° C kommt es zu einer raschen Adaptation der Thermozeption über sogenannte Intensitäts-Differential- oder PD-Sensoren: Wasser von 25° C wird nur anfangs als kalt empfunden. Extremere Temperaturen werden dagegen dauernd als kalt bzw. warm registriert (Schutz vor einem Absinken der Kerntemperatur und Hautschäden). Während für diese Funktionen nur ein paar Kalt- und Warmsensoren / cm<sup>2</sup> Haut genügen, ist die Sensordichte im Mundbereich wesentlich höher; daher eignen sich Lippen oder Wangen gut zur Temperatur-„Messung“. Für Temperaturen über 45° C gibt es eigene Hitzesensoren, die den Capsaicinsensoren entsprechen, mittels derer die „heiße“ Schärfe der Chilischote schmackhaft wird. Deren Erregung führt zur Öffnung eines Kationenkanals in nozizeptiven Nervenendigungen, was dort die Depolarisation und Auslösung von Aktionspotentialen bewirkt (SILBERNAGL 2001).

Neben den kutanen Kalt- und Warmrezeptoren, die zugleich die Temperaturempfindung vermitteln, wurden seit langem "innere Thermorezeptoren" postuliert und zahlreiche experimentelle Indizien für ihre Existenz gewonnen. So konnte BLIGH (1973) durch lokale Erwärmung oder Kühlung eines eng umschriebenen Bezirkes des vorderen Hypothalamus sowohl Wärmeabgabevorgänge als auch eine Steigerung der Wärmebildung auslösen. Diese thermosensitiven inneren Rezeptoren wurden bislang nicht identifiziert, wohl aber mittels Einzelfaserableitung sogenannte "Wärmeneuronen", d.h. Nervenzellen, deren Aktivität bei lokaler Erwärmung zunimmt.

Schon 1963 zeigten NAKAYAMA et al., daß durch deren Aktivierung ein Entwärmungsmechanismus über die Steigerung der Atemfrequenz angeregt wird. Mehrere Autoren belegen eine ähnliche Thermosensitivität auch an einigen anderen Stellen des zentralen Nervensystems. So beschreibt JESSEN 1967 in seiner gleichnamigen Arbeit die "Auslösung von

Hecheln durch isolierte Wärmung des Rückenmarks am wachen Hund". Die gleiche Provokation führt nach Auffassung weiterer Arbeitsgruppen zur Vasodilatation und Hemmung der Wärmebildung, während die Abkühlung des Rückenmarks Kältezittern und Vasokonstriktionen auslöst (THAUER et al. 1972, SIMON 1974).

Zusammengefaßt stellt sich die Regelung der Körpertemperatur als sehr aufwendiges Regelsystem dar. Die Gewöhnung an wechselwarme sowie an intensive Kältreize führt zu verschiedenen Anpassungsvorgängen. Gemäß der Aufgabenstellung ergibt sich die Frage nach *unspezifischen* Veränderungen akralen Durchblutungsverhaltens im Ergebnis regelmäßigen *Winterschwimmens* einerseits und der *Saunaanwendung* andererseits im Vergleich mit ungewöhnten Kontrollprobanden.

### **6.3. Das Verhalten konsensueller Auswirkungen eines kalten Fußbades auf Vasomotorik und Vasomotion von Kontrollpersonen, Saunagängern und Winterschwimmern**

#### **6.3.1. Vasomotorik und Vasomotion an der Nasenschleimhaut bei einem kaltem Fußbad**

Die Auswahl des Nasenseptums als einer der Untersuchungsorte zum Nachweis von Abhärtung gründet sich auch auf die evidente Bedeutung der Schleimhäute beim Auftreten akuter respiratorischer Erkrankungen: Die Ausscheidung von Entzündungsprodukten zunächst in die präformierten Räume des menschlichen Körpers sowie der dann folgende Abtransport durch die Expektoration ist ohne eine funktionsgerecht arbeitende Schleimhaut gar nicht möglich. Hält man sich die Häufigkeit des Auftretens der - teilweise mit Komplikationen einhergehenden - grippalen Infekte in der ärztlichen Sprechstunde vor Augen, verwundert die schon in Medizinstudium und Facharztweiterbildung etwas nachlässige Behandlung der Schleimhaut in Hinblick auf die Erforschung auch deren Reaktionsmuster.

Die Durchblutungsregulation scheint gerade an dieser „vegetativen Front“ von herausragender Bedeutung zu sein: Jedes Kind reagiert mit seiner Schleimhaut normalerweise auf eine zur Erkrankung führende Noxe durch deren Entzündung eben mit verstärkter Durchblutung,

Schwellung und Ausscheidung von Sekret (wäßrig beginnend bis eitrig) und schließlich der Regeneration. Jegliche Komplikationen scheinen hier ihre Ursache auch in einer Störung der Schleimhautsekretion zu haben und somit eben in einer Alteration der Durchblutung! Abgesehen von der herausragenden Stellung physikalischer Behandlung im allgemeinen scheint uns speziell balneologische und klimatologische Abhärtung als einfach und erfolgversprechend, jenseits frustrierender antibiotischer „Abschirmung“ - die schon angesichts der meist viralen Kausalität obsolet sein sollte - eine potente Umstimmung der Schleimhaut hervorzurufen.

Die Untersuchungen ergaben, daß gewohnheitsmäßiges Winterschwimmen - wöchentlich von September bis Mai - eine signifikant höhere Durchblutung der Nasenschleimhaut hervorruft als die Sauna (siehe Abb. 5). Damit ist die konsensuelle Durchblutungsreaktion der Nasenschleimhaut zweifelsfrei nachgewiesen. Der Winterschwimmer verfügt also hinsichtlich der eingangs erwähnten Infektionsabwehr über ein ausgezeichnetes Instrument, besser als jeder Untrainierte auf akute respiratorische Erkrankungen zu reagieren, beispielsweise durch größeren Kontakt mit immunkompetenten Zellen.

Die Begründung der geringeren Schleimhautdurchblutung der Saunagänger im Vergleich auch zu den Kontrollpersonen fällt allerdings schwerer und ist vermutlich in einer Ökonomisierung zu sehen. Die Sauna dürfte - da wechselwarm - mehr in Richtung der Tolerierung von ambivalentem thermischen Streß führen, wozu wohl besser ein geringeres Ausgangsniveau der Durchblutung geeignet sein dürfte. Ferner kann zur Erläuterung dieses Phänomens natürlich auch herangezogen werden, daß beim Saunagang die Warmphasen erheblich überwiegen. Insofern sind die hierdurch ausgebildeten Adaptate auch von den durch das Winterschwimmen hervorgerufenen zu trennen.

Die Fähigkeit des Organismus zur Selbstoptimierung sieht CONRADI (1985) als Voraussetzung für die Wirksamkeit von Thermotherapieverfahren durch Ausbildung *spezifischer* Adaptate. Die angeführte geringere Ruhedurchblutung – in warmer Umgebung – der Saunagänger ist am ehesten als solches zu sehen. Das Ziel dieser Arbeit liegt hingegen im Nachweis *unspezifischer* Adaptate durch verschiedene Anwendungen gewohnheitsmäßiger Hydrotherapie. Bei der Auswertung der Versuche an der Nasenschleimhaut zeigen sich besonders bei den Winterschwimmern keineswegs nur spezifische Adaptate, da die Versuche unter warmen Umgebungsbedingungen durchgeführt wurden. Diese Probanden zeigen nämlich als *einzige*

*Gruppe sieben Minuten nach dem Kaltreiz eine höhere Durchblutung als zuvor in Ruhe, und dies auf ohnehin sehr hohem Niveau.*

Die Kontrollpersonen bleiben in ihrer Nasenschleimhautdurchblutung während der Versuchsserie im wesentlichen gleich; der geringe Anstieg während des Kaltreizes ist einigen wenigen Probanden im Sinne einer größeren Streuung zuzuordnen. Dies entspricht den Ergebnissen von LINDNER (1990), die ein geringeres „Tonisations – Relaxationsspiel der oberflächlichen Gefäße Nichttrainierter“ postuliert. Im Gegensatz zu Winterschwimmern und Saunagängern weisen die Kontrollpersonen keine signifikante Durchblutungsänderung auf.

Von besonderem Interesse an der Nasenschleimhaut beim Gruppenvergleich ist die signifikante Korrelation zwischen Durchblutung einerseits und Amplitude der Vasomotorik und Vasomotion andererseits bei Saunagängern und Kontrollpersonen, nicht jedoch bei den Winterschwimmern. Möglicherweise kommen also bei den Winterschwimmern andere Mechanismen im Sinne der Anpassung zum Ausdruck, die mathematische Abhängigkeiten überdecken. Damit wäre die Beeinflussung durch die Abhärtung durch Eisbaden besonders ausgeprägt, was sich sehr günstig beispielsweise auf die Lymphbildung sowie den Abtransport von Krankheitserregern auswirkt.

### **6.3.2. Vasomotorik und Vasomotion am Hypothenar bei einem kalten Fußbad**

Wie schon bei der einleitenden Besprechung der Mikrozirkulation als Funktion des Wärmehaushaltes im Kapitel 2.1. besprochen, erfolgt die Thermoregulation des menschlichen Körpers topographisch keinesweg einheitlich. Einer Anregung von HENSEL folgend, betrachten wir dabei die Akren als Hauptstellglied, welches neben den Füßen und Händen auch Nase, Ohren und Lippen umfaßt. Hier beeinflussen sympathische Nerven über das Noradrenalin die Durchblutung der Arteriolen (HENSEL 1973).

Wenngleich in der Literatur der Stellenwert einer exakten Differenzierung zwischen Haut- und Muskeldurchblutung uneinheitlich bewertet wird, erscheint uns das Hypothenar als Meßort der Laser – Doppler – Flowmetrie als sehr geeignet: Einerseits lassen sich am Hypothenar eindeutig akrale Verhältnisse erfassen, zum anderen betrifft dieser Locus der Körperschale das verhornte

Plattenepithel der Haut im Gegensatz zur Nasenschleimhaut als Einsatzort sekretorischer Immunglobuline.

Dabei erfaßt die ausgewählte Untersuchungsmethode mit einer Eindringtiefe des Lasers von einem Millimeter ohnehin nur die Hautdurchblutung. Selbst eine Annahme von ergebnisrelevanten Synergien zwischen Haut und Muskeldurchblutung würde die Beantwortung der eingangs gestellten Fragen nicht behindern.

Darüber hinaus erschien uns neben der Korrelation zwischen den Versuchsgruppen ebenso der Nachweis bzw. Ausschluß von Korrelationen zwischen Nasenschleimhaut und Hypothenar bezogen auf Winterschwimmer, Saunagänger, Kontrollgruppe und auch die Gesamtpopulation von großem Interesse. Denn sowohl das Hypothenar als auch die im Kapitel 6.2.1. bereits diskutierte wichtige Nasenschleimhaut gehören zum Hauptstellglied der Thermoregulation, den Akren.

In Abbildung 14 zeigen sich folgende Ausgangswerte der Durchblutung am Hypothenar: Die Gruppe der Winterschwimmer weisen die kleinste, die Kontrollpersonen die größte Ruhedurchblutung auf. Zwischen diesen statistisch signifikant unterschiedlichen Werten liegt die Ausgangsdurchblutung der Saunagänger. Damit ist mit einer solchen *unspezifischen* Veränderung, weil sowohl durch gewohnheitsmäßige wechselwarme als auch intensive Kaltanwendung hervorgerufen, *ein Abhärtungsvorgang bewiesen*.

Ferner läßt sich vermuten, daß die noch deutlich stärker eingeschränkte akrale Zirkulation der Winterschwimmer als Ausdruck einer spezifischen Kälteanpassung zu werten ist. Während der Versuchsreihen registrieren die Abbildungen 15 bis 17, daß im Gegensatz zu Kontrollpersonen und auch Saunagängern bei den Winterschwimmern die Ausgangswerte der Durchblutung am Hypothenar auch kurzfristig nahezu wieder erreicht werden. Dieses *konsensuelle* Reaktionsmuster der Hand nach einminütigem Fußbad in kaltem Wasser entspricht den Aussagen von BRENKE und BRENKE (1991) bezüglich der *lokalen* Wiedererwärmung von Winterschwimmern im Vergleich mit Kontrollprobanden.

Die Betrachtung der Vasomotionsfrequenz am Hypothenar zeigt in Ruhe beim Gruppenvergleich eine negative Korrelation zur Durchblutung: Die Winterschwimmer haben bei geringer Durchblutung die höchste Frequenz, die Kontrollpersonen die niedrigste bei höchster

Ausgangsdurchblutung! Die Saunagänger liegen vor den Versuchen sowohl mit der Durchblutung als auch der Frequenz zwischen den anderen Versuchsgruppen. Besonders interessant sieht das Frequenzverhalten der Eisbadesportler am Hypothenar während des kalten Fußbades aus: Nur bei ihnen sinkt mit dem Kaltreiz die Vasomotionsfrequenz ab. Die Saunagewohnten steigen mit der Frequenz zwar etwas an, jedoch keineswegs so stark wie die an thermische Reize ungewohnte Kontrollgruppe.

Es kann somit am Hypothenar generell eine durch regelmäßig angewandte Hydrotherapie eine gesteigerte Vasomotion bei eingeschränkter Hautdurchblutung festgestellt werden, wobei die Winterschwimmer das lebhafteste Verhalten aufweisen. Sie bieten die größte Frequenz bei geringster Durchblutung. Der fehlende Frequenzanstieg während des Kaltreizes dagegen kann als spezifische Kälteanpassung gewertet werden. Diese Winterschwimmer sind an Kälte gewöhnt und reagieren darauf konsensuell kaum. Außerdem ist hier auch aus biometrischer Sicht bei dem im Gruppenvergleich höchsten Ausgangswert der Vasomotionsfrequenz ein weiteres Ansteigen ohnehin unwahrscheinlich.

Auch die Messungen am Hypothenar zeigen also insgesamt durch den Nachweis unspezifischer, weil sowohl durch Sauna- als auch durch Winterschwimmen hervorgerufen, Veränderungen den *Abhärtungseffekt gewohnheitsmäßiger Hydrotherapie*. Beide Versuchsgruppen unterscheiden sich im Ausgangszustand von den Untrainierten durch eine gesteigerte Vasomotionsfrequenz bei eingeschränkter Durchblutung. Daß dieser Effekt ausgeprägter bei den Winterschwimmern auftritt, verwundert nicht, denn deren Applikationsreiz ist deutlich größer. Selbst wenn einige der Winterschwimmer nur kurz in das Wasser des aufgehackten Eislochs eintauchen, unterliegen sie aber damit sofort der Extremsituation.

Die Saunagänger betreiben diese Form der Hydrotherapie zwar das ganze Jahr über, jedoch benutzen keineswegs alle Personen dieser Versuchsgruppe die oberste Stufe, abgesehen von der Länge und Anzahl der Saunagänge. Es sei der Vollständigkeit halber erwähnt, daß sich der hydrotherapeutische Trainingseffekt natürlich nicht auf die Mikrozirkulation beschränkt, sondern z. B. durch die Veränderung auch des Blutdruckverhaltens das gesamte Herz – Kreislauf – System betrifft. Nach TIEDT (1987) reagiert es auf einen Kaltreiz physiologischerweise zunächst durch eine initiale Verengung der arteriellen und venösen Hautgefäße aufgrund lokaler und reflektorischer Mechanismen. Damit verlagert sich das Blut von der Körperschale in den

Körperkern und der Blutdruck steigt. Über diesen Mechanismus werden arterielle Pressorezeptoren gereizt und das Herz – Schlag – Volumen steigt an.

Zur Beantwortung der eingangs gestellten Fragen steht jedoch die Mikrozirkulation im Mittelpunkt des Interesses. Die Auswertung der konsensuellen Auswirkungen kalter Fußbäder auf die Nasenschleimhaut und das Hypothekar erhärtet auch die Vermutung eines engen reflektorischen Zusammenhangs zwischen der Durchblutung des Nasen – Rachen – Raums und der akralen Durchblutung.

Es zeigt sich durch den Nachweis unspezifischer Veränderungen, daß einerseits durch beide Verfahren eine Abhärtung überhaupt erreicht werden kann. Zum anderen wird die Wirkungsweise dessen, was gemeinhin unter „Abhärtung“ verstanden wird, verständlich, nämlich - über den Kontakt mit immunkompetenten Zellen - die Infektabwehr zu steigern.

Bereits 1957 war in der ehemalige DDR im Zuge der damaligen Grippewelle eine Studie mit dem Ergebnis erstellt worden, daß von den regelmäßigen Saunagängern nur 5 % erkrankten, während von den „sonstigen Betriebsangehörigen bis zu 47 % hustend und fiebernd zu Hause blieben“. Auch das Eisbaden wurde bei der Belegschaft des damaligen DDR – Atomkraftwerks Lubmin diesbezüglich ausgewertet.

Neben einer Reduzierung grippaler Infekte sowie der Besuche im zuständigen Landambulatorium gaben einzelne Winterschwimmer auch an, daß sich bei ihnen dadurch Gelenkbeschwerden oder Asthma bronchiale gebessert habe. Damals wurden die Effekte empirisch postuliert. Diese Arbeit belegt statistisch positive Korrelationen an Akren und Nasenschleimhaut bei Winterschwimmern, Saunagängern und auch der Gesamtgruppe. Da keinerlei derartige Korrelationen bei den Kontrollprobanden nachweisbar ist, kann an einer Abhärtung durch gewohnheitsmäßige Hydrotherapie nicht mehr gezweifelt werden.



#### **6.4. Das Verhalten lokaler Auswirkungen eines Eisschmelzwasserbades auf Vasomotorik und Vasomotion von Kontrollpersonen, Saunagängern und Winterschwimmern**

In der Literatur gibt es neben der spontanen arteriellen Vasomotion Untersuchungen von Hauttemperatur und akraler Wiedererwärmung nach lokalen Kaltreizen. Dabei werden als Langzeiteffekte des Winterschwimmens hauptsächlich wärmere Akren in kalter Umgebung sowie eine schnellere akrale Wiedererwärmung nach Kaltreizen angegeben (BRENKE 1990).

Wie im Kapitel 4 (Methodik) bereits erwähnt, war neben der Untersuchung konsensueller Reaktionen auf ein kaltes Fußbad vor allem der Nachweis lokaler Auswirkungen eines Eisschmelzwasserbades Gegenstand der Versuche, und zwar hinsichtlich der Mikrozirkulation am Mittelfinger sowie der akralen Wiedererwärmung am Zeigefinger. Beide Versuchsreihen wurden simultan durchgeführt, d.h. die benachbarten Finger – wie beschrieben – langsam durch das Eisschmelzwasser über 60 Sekunden gerührt und anschließend der Zeigefinger unter die Thermomeßsäule gelegt, während dessen der aufgeklebte Laser laufend Werte über die Mikrozirkulation des Mittelfingers lieferte.

##### **6.4.1. Die Reaktion von Vasomotorik und Vasomotion am Mittelfinger bei einem Eisschmelzwasserbad**

Bezogen auf die konsensuellen Durchblutungsmessungen imponiert bei den lokalen Versuchen, daß die Durchblutung nicht während des Reizes, sondern erst nach Reizende signifikant verändert wird, also nach dem Herausnehmen der Finger aus dem Eisschmelzwasser. Dabei überrascht die Größe lokaler Veränderung nicht: Erstens wurden das Fingerbad mit Eisschmelzwasser angewandt, das Fußbad hingegen mit 12° C, und zweitens ist die lokale Reaktion naturgemäß erheblich stärker als die konsensuelle.

Auch bei den lokalen Versuchsserien werden die Parameter Durchblutung, Amplitude und Frequenz der Probandengruppen miteinander verglichen. Vor dem Eisschmelzwasserbad zeigen die Winterschwimmer und noch mehr die Saunagänger eine leicht eingeschränkte Durchblutung

am Mittelfinger im Verhältnis zu den untrainierten Kontrollpersonen. Schon hier ist also der beschriebene unspezifische Abhärtungseffekt durch verschiedene hydrotherapeutische Maßnahmen – nämlich intensive Kaltreize sowie wechselwarme Reize – festzustellen.

Während des Eisschmelzwasserbades kommen offensichtlich unterschiedliche Mechanismen zum Ausdruck: Während Kontrollpersonen ebenso wie die Saunagänger beim starken Kaltreiz ihre Durchblutung einschränken, wird die der Winterschwimmer größer. Mit dem Herausnehmen des Mittelfingers aus dem Eisschmelzwasser dauerte die Durchblutungseinschränkung der Eisbader länger, um dann am intensivsten wieder anzusteigen. Es zeigt sich eine spezifische Anpassung an umgebendes Eisschmelzwasser; vergleichbare Messungen fanden sich bei gleicher Methodik in der Literatur allerdings nicht. Ganz deutlich wird hier in jedem Fall die größere Reagibilität der Winterschwimmer in kalter Umgebung.

Die Amplituden der aufgezeichneten Vasomotionswellen werden nach Reizende - wie bei den konsensuellen Versuchen - von der einsetzenden Vasomotorik überlagert. Diese nach dem lokalen Kaltreiz einsetzende Vasokonstriktion ist bei den Winterschwimmern signifikant größer als bei den anderen Probandengruppen (s. Abb. 25 !). Auch hinsichtlich des Ausgangswertes in Ruhe vor Versuchsbeginn unterscheiden sich die Versuchspersonen: Die Kontrollgruppe erreicht ihn während der 8. Messung bzw. 6. Minute nach dem Kaltreizende; die Winterschwimmer eine Minute schneller. Hingegen liegen die Amplituden am Mittelfinger der Saunagänger nach Kaltreizende im gesamten Meßzeitraum unter dem Ruhewert.

Der beschriebene Amplitudenvergleich ist auch eine Folge der bereits diskutierten Durchblutungswerte: Nur bei den Winterschwimmern stieg die Durchblutung am Mittelfinger mit dem Eiswasserbad an und wurde nach diesem am meisten eingeschränkt. Demzufolge haben diese Probanden in diesem Zeitraum auch die größte Vasomotionsamplitude, denn deren Messung bildet definitionsgemäß die verengende Vasomotorik mit ab. Die Messungen der Amplituden am Mittelfinger lassen also in Analogie zur Durchblutung auf eine größere Reaktionsbereitschaft bei Winterschwimmern auf Eisschmelzwasserapplikationen schließen; sie sind durch ihren Sport hinsichtlich intensiver lokaler Kaltreize am meisten abgehärtet.

Besonders die Dynamik der Vasomotionsfrequenz eignet sich zur Beurteilung der Abhärtung im Gruppenvergleich, denn sie ist - abgesehen von maximaler Vasokonstriktion - nahezu durchblutungsunabhängig und wird auch durch eine kaltreizbedingte Überlagerung der

Vasomotion durch die Vasomotorik kaum tangiert. Am Mittelfinger haben die Winterschwimmer die höchste und die Saunagänger die deutlich niedrigste Ruhefrequenz. Letztere reagieren auf das Eisschmelzwasserbad mit starkem Frequenzanstieg, die kaltreizgewohnten Winterschwimmer dagegen werden mit der Vasomotionsfrequenz als einzige Versuchsgruppe etwas langsamer.

Bezogen auf die Kontrollgruppe differieren also Winterschwimmer und Saunagänger teilweise in unterschiedlicher Richtung, was sich durch unterschiedliche Adaptationsstrategien erklärt. Die höhere Reagibilität der Winterschwimmer zeigt deren optimale Anpassung an lokale Eisschmelzwasserapplikationen. Saunagänger sind dagegen an wechselwarme Reize angepaßt und reagieren mit Durchblutung, Amplitude und Vasomotionsfrequenz teilweise anders auf den Kaltreiz als Winterschwimmer, aber insgesamt unterscheiden auch sie sich deutlich von den nicht abgehärteten Kontrollpersonen.

#### **6.4.2. Die Reaktion der akralen Wiedererwärmungsreaktion am Zeigefinger bei einem Eisschmelzwasserbad**

Die typische Kurve der akralen Wiedererwärmung zeigt einen biphasischen Verlauf. Die erste Schulter kommt durch den physikalischen Wärmestrom vom Fingerkern zu dessen Haut sowie durch Wärmeaufnahme aus der Umgebung zustande. Der nach einer bis drei Minuten meist einsetzende Steilanstieg ist Ausdruck der Arterioldilatation, die oft überschießend ist und eine reaktive Hyperämie einleitet (BRENKE et al. 1990). Besonderheiten sind bekannt hinsichtlich der tagesrhythmischen Schwankung der mittleren akralen Wiedererwärmung, die zwischen 9 und 15 Uhr am schnellsten verläuft (HILDEBRANDT 1985), in den Monaten Mai bis Oktober hingegen deutlich verzögert ist (HENTSCHEL und SCHIRGEL 1960). Letzteres gilt ebenfalls für die Zyklushälfte nach der Menstruation (HORST-MEYER und HEIDELMANN 1953).

Mit der akralen Wiedererwärmungsreaktion kann der Abhärtungseffekt gemäß Definition und Aufgabenstellung (s. Kap. 3) klar nachgewiesen werden: Sowohl die wechselwarme als auch die kalte Applikation führt auf Dauer zu gleichsinnigen Veränderungen, obwohl diese von einer unterschiedlichen Ausgangstemperatur ausgehen. Vor dem Versuch zeigen nämlich die Saunagänger die durchschnittlich geringsten Temperaturen am Zeigefinger und die

Winterschwimmer den deutlich größten Wert. 1986 sahen BRENKE et al. als medizinischen Aspekt beim Winterschwimmen Hinweise für eine verminderte Infektanfälligkeit. Insbesondere erfolge die Wiedererwärmung der Akren nach Eisbädern bei Angepaßten schneller und Eisbadegewohnte tolerierten eine längere Aufenthaltsdauer im Eiswasser. Dies gehe einher mit einer verzögerten Durchblutungsregulation der Akren in warmer Umgebung. Die Aussagen können durch die eigenen Untersuchungen im wesentlichen bestätigt werden; jedoch fanden wir die schnellere akrale Durchblutungsregulation der Winterschwimmer *eben auch in warmer Umgebung* – wozu die gewählten Untersuchungsbedingungen in der Klimakammer eindeutig zu rechnen sind.

Durch das Eintauchen in das Eisschmelzwasser wird der Finger von beiden Probandengruppen *kälter als bei den Kontrollpersonen*. Selbst bei unterschiedlicher akraler Ausgangstemperatur infolge Anpassung an wechselwarme sowie an intensive Kaltreize (s. Kap. 6.4.1.) kann also mit jeder der beiden Methoden bei gewohnheitsmäßiger Anwendung eine abhärtende Wirkung erzielt werden, die sich in der gleichsinnig veränderten Reaktionsbereitschaft gegenüber eintretenden Kaltreizen äußert!

Von diesen unterschiedlichen Temperaturminima ausgehend erwärmen sich bei den 3 Gruppen die Meßpunkte in unterschiedlich schneller Weise: 7 Minuten nach Kaltreizapplikation zeigen die Winterschwimmer bereits die höchste akrale Temperatur (Abb. 39) im Gruppenvergleich. Sie weisen die optimale akrale Durchblutungsregulation nach Einwirkung eines definierten starken Kaltreizes auf! Ausgehend von geringerer akraler Ausgangstemperatur kann auch bei den Saunagängern der Abhärtungseffekt mit Einsetzen des Kaltreizes durch Eisschmelzwasser belegt werden: Wie bei den Winterschwimmern wird durch den Kaltreiz eine geringere akrale Hauttemperatur hervorgerufen als bei den Kontrollpersonen. Allerdings weisen sie danach keine schnellere Wiedererwärmungsreaktion auf.

Der Einfluß des Saunabadens auf die akrale Wiedererwärmungsreaktion ist in der Literatur eingehend diskutiert worden ( HOFFMANN 1978, CONRADI 1980, WARNKE et al. 1984, BRENKE 1986, EISERMANN 1986, KAHLBAUM 1987, MENDER 2002). Die mehrheitlich postulierte signifikant höhere akrale Hauttemperatur als auch die verbesserte Temperaturänderungsgeschwindigkeit der Saunagänger wird durch die eigenen Versuche nicht bestätigt. Dies erklärt sich mit größter Wahrscheinlichkeit durch den unterschiedlichen Versuchsansatz. Die genannten Arbeiten beschäftigen sich vorwiegend mit dem unmittelbaren

Einfluß des Saunabadens auf die Mikrozirkulation und thematisieren stressorspezifische physiologische Adaptate bzw. kurzfristige Kureffekte.

Ferner sind von HOFFMANN (1978) die eingehend ausgewerteten Messungen zur akralen Wiedererwärmung sowohl vormittags als auch nachmittags vorgenommen worden. Auf das zirkadiane Verhalten der Wiedererwärmungsreaktion wurde bereits hingewiesen; aus diesem Grund lassen sich aus ganztägigen Messungen keine präzisen statistisch relevanten Aussagen ableiten. Schließlich schwankt die akrale Wiedererwärmungsreaktion bei weiblichen Probanden nach HORST-MEYER und HEIDELMANN (1953) auch in Abhängigkeit vom Menstruationszyklus; hier hat sicher jeder Untersucher argumentative Schwierigkeiten hinsichtlich der Vergleichbarkeit seiner Probanden in der Literaturanalyse.

Die eigenen Ergebnisse belegen den Abhärtungseffekt, mit der Applikation von Eisschmelzwasser auf den Zeigefinger von Winterschwimmern und Saunagängern in warmer Umgebung eine niedrigere akrale Temperatur hervorzurufen. Es handelt sich definitionsgemäß um eine stressorspezifische Veränderung. Der weitere Verlauf der akralen Wiedererwärmungsreaktion zeigt die Überlegenheit im Reaktionsverhalten der an extreme Kaltreize gewöhnten Winterschwimmer und ist als stressorspezifische physiologische Adaptation (BRÜCK 1964) einzuordnen.

## 7. Zusammenfassung

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit der Frage, inwieweit sich durch gewohnheitsmäßige hydrotherapeutische Maßnahmen - und zwar vergleichend kalte sowie wechselwarme - eine thermische Konditionierung herbeiführen lässt. Das Ziel der Arbeit liegt im Nachweis einer durch solche Maßnahmen bedingten *unspezifischen Veränderung* der Durchblutungsreaktion an Haut und Schleimhaut bei der Einwirkung von Kaltreizen als *Nachweis der Abhärtung*.

Drei ausgewählte Probandengruppen (Saunagänger, Winterschwimmer und Kontrollpersonen) von jeweils 15 Personen standen zur Registrierung der Vasomotorik und Vasomotion vor, während und nach einem einminütigen Fußbad von 12° C bzw. einem einminütigen Fingerbad im Eisschmelzwasser zur Verfügung. Weiter wurde die Wiedererwärmung eines benachbarten Fingers ebenfalls nach dem einminütigen Fingerbad im Eisschmelzwasser gemessen. Während die Ausgangsmessungen in Ruhe vor dem Kaltreiz vorwiegend die Vasomotion widerspiegeln, wird diese bei Applikation von kaltem Wasser durch die Vasomotorik überlagert. Das wirkt sich vor allem auf die Veränderung des Durchblutungsniveaus und damit auf die gemessene Amplitude aus.

Die Registrierung ergab, daß sich die Vasomotorik und Vasomotion bei lokaler Messung am Reizort erwartungsgemäß zwar prinzipiell gleichartig, aber signifikant stärker als bei der konsensuellen Messung verändern. Bei der Vasomotionsanalyse kommt der Frequenz sicher eine entscheidende Aussagekraft zu. Die *konsensuellen* Versuche zeigen, daß die untrainierten Kontrollpersonen länger zur Erlangung ihrer Ruhefrequenz brauchen als Saunagänger und Winterschwimmer. Die Kontrollgruppe reagiert allgemein träger, aber heftiger und zeigt beispielsweise am Hypothenar eine signifikante Frequenzänderung durch das kalte Fußbad im Gegensatz zu Winterschwimmern und Saunagängern als Nachweis fehlender Abhärtung.

Während diese Frequenzmessungen als Hinweis für eine durch gewohnheitsmäßige wechselwarme oder Kaltreize erreichte Abhärtung gewertet werden können, zeigt die Durchblutung beispielsweise an der Nasenschleimhaut klar den stärkeren Einfluss des Eisbadens: Im Vergleich zum wechselwarmen Reiz der Sauna weisen die Winterschwimmer eine deutliche, wenn auch nicht signifikant erhöhte Ruhedurchblutung an der Nasenschleimhaut auf

und besitzen damit beispielsweise einen Vorteil hinsichtlich ihrer Schleimhautpräsenz von immunkompetenten Zellen. Ferner ist die Gruppe der Winterschwimmer die einzige, die während des lokalen Eisschmelzwasserbades ihre Durchblutung am Mittelfinger vergrößert.

Die *lokalen* Eisschmelzwasserbäder am Mittelfinger bewirken bei den Versuchspersonen vorübergehend eine fast fehlende Vasomotionstätigkeit. Daraus resultieren signifikante Veränderungen von Durchblutungsniveau, Amplitude und Frequenz für alle Probandengruppen. Messungen an der Mittelphalanx des Mittelfingers stellen die Vasomotionswellen der Saunagänger am langsamsten im Vergleich mit Winterschwimmern und Kontrollpersonen dar. Die Änderungen der Durchblutung im Vergleich zu den Verhältnissen in Ruhe sind bis zu einer Stunde nachweisbar.

Die Untersuchung hat auch ergeben, daß bei der akralen Ausgangstemperatur am Zeigefinger zwischen den Probandengruppen nur nichtsignifikante Unterschiede bestehen; der Index der Winterschwimmer ist am wärmsten. Nach der Applikation eines Eisschmelzwasserbades ist die Hauttemperatur der Winterschwimmer dann für kurze Zeit signifikant kleiner als die der anderen Probandengruppen, steigt dafür aber deutlich schneller an. Die Reaktionsbereitschaft der Winterschwimmer auf Kaltreize ist größer als bei Saunagängern und Kontrollpersonen. Die Langzeitwirkung des Saunabadens im Sinne einer schnelleren Wiedererwärmungsreaktion konnte nicht bestätigt werden.

Die durchgeführten Versuche belegen statistisch signifikant, daß sich gewohnheitsmäßige hydrotherapeutische Maßnahmen zirkulationsfördernd auf die kutanen Gefäße auswirken und sich deren Reagibilität erhöht, sodaß Kaltreize besser toleriert werden. Dabei stellt das Winterschwimmen im Vergleich ein stärkeres Trainingsmoment zur Bahnung effektiver thermoregulatorischer Reaktionen *auf Kaltreize in warmer Umgebung* dar.

Die Frage, ob der Organismus durch das Saunabad in die Lage versetzt werden kann, schneller auf *wechselwarme* Reize zu reagieren, sollte Anregung zu weiterer Forschung auf diesem interessanten Gebiet therapeutischer Physiologie sein, um durch deren besseres Verständnis klare Behandlungskriterien zu schaffen.

## 8. Literaturverzeichnis

- ADOLPH, E.F. (1956): General and specific characteristics of physiological adaptations. *Am. J. Physiol.* 184, 18-28.
- ALBRECHT, B.H. (2003): Verbesserung der Immunregulation durch Anwendung einer Serie vierwöchigen Wassertretens nach Kneipp. *Med. Dissertation*, Berlin.
- AMELUNG, W., HILDEBRANDT, G. (1985): *Balneologie und medizinische Klimatologie*, Bd. 1. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio.
- ASCHOFF, J. (1958): Hauttemperatur und Hautdurchblutung im Dienste der Thermoregulation. *Klin. Wschr.* 36, 193-205.
- BARKER, J.H., HAMMERSEN, F., BONDAR, I., UHL, E., GALLA, T.J., MENDER, M.D., MESSMER K. (1989): The hairless mouse ear for in vivo studies of skin microcirculation. *Plast. Reconstr. Surg.* 83(6), 948-959.
- BARTSCH, P. (1973): Störungen des Wärmehaushaltes. In: *Allgemeine Pathologie*, Hecht, A., K. Lunzenauer, E. Schubert, Volk und Gesundheit, 167.
- BAUEREISEN, E. (1971): *Physiologie des Kreislaufs*, Bd. 1 Arteriensystem, Capillarbett und Organkreisläufe, Fetal- und Placentakreislauf. Springer Berlin, Heidelberg, New York.
- BENSEL, C.K., LOCKHART, J.M. (1974): Cold induced vasodilatation onset and manual performance in the cold. *Ergonomics* 17, 717-730.
- BERTUGLIA, S., COLANTUONI, A., COPPINI, G., INTAGLIETTA, M. (1991): Hypoxia- or hyperoxia-induced changes in arteriolar vasomotion in skeletal muscle microcirculation. *Am. J. Physiol.* 260(2 Pt 2), H 362-372.



- BLAUROCK, K.J.G. (1989): Dosis- und Zeitabhängigkeit der Durchblutungsänderung bei lokaler und segmentaler Anwendung der Kurzwellentherapie. Med. Diplomarbeit, Berlin.
- BLIGH, J. (1973): Temperature regulation in mammals and other vertebrates. Amsterdam-London: North Holland Publ. New York: Elsevier Publ.
- BOUSKELA, E. (1989): Vasomotion frequency and amplitude related to intraluminal pressure and temperature in the wing of the intact, unanesthetized bat. *Microvasc. Res.* 37(3), 339-351.
- BOUSKELA, E., GRAMPP, W. (1992): Spontaneous vasomotion in hamster cheek pouch arterioles in varying experimental conditions. *Am. J. Physiol.* 262(2 Pt 2), H 478-485.
- BRENKE, A., BRENKE, R., LORECK, D. (1990): Diagnostik und klinische Relevanz von Mikrozirkulationsstörungen bei der progressiven Sklerodermie. *Dermatol. Mon.schr.* 176, 27-33.
- BRENKE, R. (1990): Die Wirkung des Saunabades, Wärmephase und Abkühlung, auf die Durchblutung der Extremitäten. *Int. Sauna-Arch.* 7H, 4, 161-164.
- BRENKE, R. (1990): Winterschwimmen – eine Extremform des Abhärtungssports. *Therapeutikon* 9, 470.
- BRENKE, R., SIEMS, W. (1996): Das Buch vom Winterschwimmen – gesund und fit durch Abhärtung. Husum.
- BRENKE, A., BRENKE, R. (1991): Grundlagen für prophylaktische und therapeutische Wärme- und Kälteanwendungen bei Gesunden und Hautkranken – dargestellt am Beispiel der progressiven Sklerodermie. Med. Habilitation, Berlin.
- BRENKE, R., CONRADI, E. (1983): Unmittelbare physiologische Wirkung auf Baden im Eiswasser. *Sauna-Arch.* 1, 21-24.
- BRENKE, R., CONRADI, E., WARNKE, C.K. (1986): Herz-Kreislauf-Belastung beim Baden im Eiswasser (Winterschwimmen). *Z. Klin. Med.* 41, 1831-1833.

- BRENKE, R., KAHLBAUM, C.K., CONRADI, E. (1986): Medizinische Aspekte zum Winterschwimmen. Frühjahrstagung der Bezirksgruppe Leipzig der Gesellschaft für Sportmedizin der DDR am 21. Februar 1986.
- BRENKE, R., PLEW, H., WARNKE, C.-K. (1982): Auswirkungen einer Serie von Kaltwasserbädern auf die vegetative Herznervensteuerung des Menschen. Z. Physiother. 34, 177-180.
- BRÖMME, L., BURBA, O., CONRADI, E. (1977): Der Einfluß unterschiedlicher Formen der Abkühlung während des Saunabadens auf ausgewählte Herz-Kreislaufparameter bei Gesunden und Patienten mit Hypertonie. Z. Physiother. 29, 193-197.
- BRÜCK, K. (1964): Probleme der Abhärtung. Arch. Physik. Ther. 1, 6-19.
- BRÜCK, K. (1985): Wärmehaushalt und Temperaturregulation. In: R.F. Schmidt, G. Thews (Hrsg.): Physiologie des Menschen, 22. Aufl. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, 583-601.
- BÜHRING, M. (1976): Zur Entwicklung der Kaltreizadaptation. Z. Phys. Med. 5, 171-177.
- BÜHRING, M. (1981): Zur Physiologie und zur Pathophysiologie der Hyperthermie. Untersuchungen in Überwärmungsbädern. Med. Habilitation, Frankfurt.
- BÜHRING, M. (1987): Das immunologische Abwehrsystem bei einer mäßig erhöhten Körpertemperatur. Int. Sauna-Archiv 4, 3-11.
- BURTON, G.A., GRIFFITH, T.M., EDWARDS, D.H. (1989): EDRF-mediated dilatation in the rat isolated perfused kidney: a microangiographic study. Br. J. Pharmacol. 98(4), 1207-1212.
- CAVALLI-SFORZA, L. (1969): Biometrie. Grundzüge biologisch-medizinischer Statistik. Gustav-Fischer-Verlag, Jena.
- CLASSEN, H.G. (1976): Streß, Disstreß und Adaptationskrankheiten. Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 23, 13-139.

- CHEATLE, T.R., SHAMI, S.K., STIBE, E., COLERIDGE-SMITH, P.D., SCURR, J.H. (1991): Vasomotion in venous disease. *J. R. Soc. Med.* 84(5), 261-263.
- CHITTENDEN, S.J., SHAMI, S.K., CHEATLE, T.R., SCURR, J.H., COLERIDGE-SMITH, P.D. (1992): Vasomotion in the leg skin of patients with chronic venous insufficiency. *Vasa.* 21(2), 138-142.
- COLANTUONI, A., BERTUGLIA, S., COPPINI, G., DONATO, L. (1990): Superposition of arteriolar vasomotion waves and regulation of blood flow in skeletal muscle microcirculation. *Adv. Exp. Med. Biol.* 277, 549-558.
- COLANTUONI, A., BERTUGLIA, S., MAGISTRETTI, M.J., DONATO, L. (1991): Effects of Vaccinium Myrtillus anthocyanosides on arterial vasomotion. *Arneimittelforschung* 41(9), 905-909.
- CONRADI, E. (1979): Die Auswirkung thermischer Reizserien auf das Verhalten des gesunden und kranken Organismus. *Z. Physiother.* 31, 213-221.
- CONRADI, E. (1980): Beitrag zum Anpassungsprozeß des menschlichen Organismus an wiederholte thermische Belastungen. *Med. Habilitation, Berlin.*
- CONRADI, E. (1985): Anpassung – ein tragendes Phänomen in der Physiotherapie. *Z. Physiother.* 37, 295-299.
- CONRADI, E., BRENKE, R., PHILLIPP, S. (1992): Häufigkeit akuter respiratorischer Erkrankungen und sekretorisches Immunglobulin A im Speichel unter Einfluß regelmäßigen Saunabadens von Kindern. *Phys. Rehab. Kur. Med.* 2, 19-21.
- CONRADI, E., SCHNEIDER, C. (1976): Untersuchungen zum Verhalten des Kreislaufs im Verlauf einer Serie Saunabäder. *Z. Physiother.* 28, 335-340.
- CONRADI, E., EISERMANN, P., STEGLICH, H.D. (1986): Die Beeinflussung des Wärmehaushaltes durch regelmäßigen Saunabesuch von Schulkindern als Teil einer Prophylaxe gegen akute respiratorische Infekte. *Int. Sauna-Arch.* 3, 5-8.

- CORDES, J.C. (1972): Die thermische Hautreaktion unter Hydrotherapie für die Praxis. Z. Physiother. 24, 413.
- DAVIS, M.J., SHI, X., SIKES, P.J. (1992): Modulation of bat wing venule contraction by transmural pressure changes. Am. J. Physiol. 262(3 Pt 2), H 625-634.
- DILLER, K.R., DUNAWAY, D.L. (1991): Network thermodynamic analysis of vasomotion in a microvascular network. Biorheology 28(5), 369-382.
- DRINDA, S. (1998): Untersuchungen zu Durchblutungsschwankungen der Haut und ihrer Beeinflussbarkeit durch Ginkgo biloba bei Patienten mit Systemischer Sklerodermie. Med. Dissertation, Berlin.
- DRISCHEL, H. (1973): Einführung in die Biokybernetik. Akademie-Verlag, Berlin.
- EISERMANN, P. (1985): Langzeitstudie regelmäßigen Saunabadens einer Kindergruppe hinsichtlich thermischer Konditionierung. Med. Dissertation, Berlin.
- EMDEN, J., SCHAEFER, H., STÜTTGEN, G. (1971): Vergleich physikalischer Parameter von Hautdurchblutungsänderungen nach epikutaner Applikation von Nikotinsäurebenzylester. Arch. Derm. Forsch. 241, 353-363.
- ERDL, R., SCHNIZER, W. (1986): Einführung der Laser-Doppler-Flußmessung in die hydrotherapeutische Grundlagenforschung zur Objektivierung thermisch ausgelöster Gefäßreaktionen in der Haut. Eigenverlag - Inst. f. Med. Baln. u. Klimatol. der L.-Maximilians-Univ. München.
- FABER, J.E. (1988): Effect of local tissue cooling on microvascular smooth muscle and postjunctional alpha 2-adrenoceptors. Am. J. Physiol. 255(1 Pt 2), H 121-130.
- FENDT, M. (1990): Konsensuelle Gefäßreaktionen vor und nach hydrotherapeutischen Anwendungsserien. Med. Dissertation, München.

- FÖLDI, M., KUBIK, S. (1993): Lehrbuch der Lymphologie, 3. Aufl. Gustav-Fischer-Verlag Stuttgart, Jena, New York.
- FRANKE, K. (1973): Moderne Abhärtungsprobleme. Goldmann, München, 137-138.
- FUJII, K., HEISTAD, D.D., FARACI, F.M. (1990): Ionic mechanisms in spontaneous vasomotion of the rat basilar artery in vivo. *J. Physiol. Lond.* 430, 389-398.
- FUJII, K., HEISTAD, D.D., FARACI, F.M. (1990): Vasomotion of basilar arteries in vivo. *Am. J. Physiol.* 258(6 Pt 2), H 1829-1834.
- FUJII, K., HEISTAD, D.D., FARACI, F.M. (1991): Role of the basilar artery in regulation of blood flow to the brain stem in rats. *Stroke* 22(6), 763-767.
- GNIADICKI, R., GNIADICKA, M., KOTOWSKI, I., SERUP, J. (1992): Alterations of skin microcirculatory rhythmic oscillations in different positions of the lower extremity. *Acta. Derm. Venerol. Stockh.* 72(4), 259-260.
- GOLENHOFEN, K. (1962): Physiologie des menschlichen Muskelkreislaufes. Marburg. *Sitzungsber.* 83/84, 167-254.
- GOLENHOFEN, K. (1987): Endogenous rhythms in mammalian smooth muscle. In: Hildebrandt, G. Moog, R., Raschke, F.: *Chronobiology and chronomedicine. Basic research and applications.* P. Lang, Frankfurt/M., 26-38.
- GUTENBRUNNER, C. (1982): Längsschnittuntersuchungen über den Einfluß intermittierender Unterdruckexpositionen auf vegetative Funktionen während des Nachtschlafes. *Med. Dissertation*, Marburg/Lahn.
- GUTENBRUNNER, C. (1996): Balneologie und medizinische Klimatologie – eine Standortbestimmung. *Heilbad. Kurort.* 48, 223-237.
- HALBERG, F. (1969): Chronobiology. *Ann. Rev. Physiol.* 31, 675-725.

- HARTMANN, B., DREWS, B., BURNUS, C., BASSENGE, E. (1991): Zunahme von Fußrücken-Hautdurchblutung und transkutanem Sauerstoffpartialdruck während Unterschenkelimmersion in kohlendioxidhaltigem Wasser bei Patienten mit arterieller Verschlusskrankheit: Ergebnisse einer gegen Süßwasser kontrollierten Studie. *Vasa*. 20(4), 382-387.
- HEIDELMANN, G. (1952): Die klinische Prüfung der akralen Arteriolenfunktion. *Z. Kreislaufforsch.* 41, 611.
- HENSEL, H., BRÜCK, K., RATHIS, P. (1973): Homeothermic organisms. In: Precht, H., Christoffersen, J., Hensel, H., Larcher, W.: *Temperature and life*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 504-761.
- HENTSCHEL, G., SCHIRGEL, L. (1960): Beobachtung über Funktionsänderungen der akralen Durchblutung als klimatherapeutischer Effekt. *Arch. Phys. Ther.* 12, 235-240.
- HESSEMER, V., ZEH, A., BRÜCK, K. (1986): Effects of passive heat adaptation and moderate sweatless conditioning on responses to cold and heat. *Eur. J. Physiol.* 55, 281-289.
- HILDEBRANDT, G. (1953): Über die balneotherapeutische Beeinflussung der rhythmischen Funktionsordnung von Puls und Atmung. *Arch. Phys. Ther. (Leipzig)* 5, 355-361.
- HILDEBRANDT, G. (1955): Prinzipien der Regulation und ihre balneotherapeutische Bedeutung. *Arch. Phys. Ther. (Leipzig)* 7, 415-423.
- HILDEBRANDT, G. (1957): Über tagesrhythmische Steuerung der Reagibilität. Untersuchungen über den Tagesgang der akralen Wiedererwärmung. *Arch. Phys. Ther. (Leipzig)* 9, 292-303.
- HILDEBRANDT, G. (1985): Therapeutische Physiologie – Grundlagen der Kurortbehandlung. In: Amelung, W., Hildebrandt, G. (Hrsg): *Balneologie und medizinische Klimatologie*, Bd. 1. Springer Berlin, Heidelberg, New York, Tokio.

- HILDEBRANDT, G., GUTENBRUNNER, C. (1998): Handbuch der Balneologie und medizinischen Klimatologie. Springer Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hongkong, London, Mailand, Paris, Santa Clara, Singapur, Tokio, 22, 29, 74 f., 501.
- HÖHNE, C., DIESKE, C. (1988): Die akrale Durchblutungssituation bei Patienten mit progressiver Sklerodermie im Zusammenhang mit röntgenologischen Befunden am Handskelett. Med. Diplomarbeit, Berlin.
- HOFFMANN, H. (1978): Die Beeinflussung der Hautdurchblutung, gemessen mittels der akralen Wiedererwärmungsreaktion durch eine Serie von Saunabändern unter Berücksichtigung des tageszeitlichen Verhaltens. Med. Dissertation, Berlin.
- HORST-MEYER, H. ZUR, HEIDELMANN, G. (1953): Menstruationszyklus, Gravidität und akrale Hautdurchblutung. Schweiz. Med. Wochenschr. 83, 450-452.
- HUNDLEY, W.G., RENALDO, G.J., LEVASSEUR, J.E., KONTOS, H.A. (1988): Vasomotion in cerebral microcirculation of awake rabbits. Am. J. Physiol. 254(1 Pt 2), H 67-71.
- INGRAM, W.R. (1960): Central autonomic mechanism. In: Handbook of physiology, section I/II, chapter 37. American Physiological Society, Washington D.C., 951-978.
- INTAGLIETTA, M. (1989): Physiologie und Pathologie der Vasomotion. In: Messmer, K.: Ischämische Gefäßerkrankungen und Mikrozirkulation. Internationales Symposium, Frankfurt.
- INTAGLIETTA, M. (1991): Arteriolar vasomotion: Implications for tissue ischaemia. Blood vessels 28, Suppl. 1, 1-7.
- IVERSEN, P.O., NICOLAYSEN, G. (1989): Heterogeneous blood flow distribution within single skeletal muscles in the rabbit: Role of vasomotion, sympathetic nerve activity and effect of vasodilatation. Acta. Physiol. Scand. 137(1), 125-133.
- JESSEN, C. (1967): Auslösung von Hecheln durch isolierte Wärmung des Rückenmarks am wachen Hund. Pflügers Arch. ges. Physiol. 297, 53.

- JOHNSON, P.C. (1978): Peripheral circulation. Wiley & Sons, New York, Chicester, Brisbane, Toronto.
- JONES, T.W. (1852): Discovery that the veins of the bat's wing are endowed with rhythmical contractility and that onward flow of blood is accelerated by each contraction. Trans. R. Soc. 142, 131-136.
- KAHLBAUM, C.K. (1987): Untersuchungen zur Physiologie des Winterschwimmens. Med. Dissertation, Berlin.
- KASTRUP, J., BULOW, J., LASSEN, N.A. (1989): Vasomotion in human skin before and after local heating recordet with Laser Doppler flowmetry. A. Method for induction of vasomotion. Int. J. Microcirc. Clin. Exp. 8(2), 205-215.
- KATSUURA, T., TOMIOKA, K., HARADA, H., IWANAGA, K., KIKUCHI, Y. (1996): Effects of cooling portions of the head on human thermoregulatory response. Appl. human science 15(2), 67-74.
- KAUPPINEN, K., VUORI, I. (1986): Man in the sauna. Ann. of Clin. Res. 18, 173-185.
- KEATINGE, W.R. (1969): Survival in cold water. Blackwell, Oxford, Edinburgh.
- KEATINGE, W.R., NADEL, J.A. (1965): Immediate respiratory response to sudden cooling of the skin. J. Appl. Physiol. 20: 65-69.
- KELLETER, H. (1968): Studien zur Anpassung an Kälte. Med. Dissertation, Hamburg.
- KLINKER, L. (1987): Über den Effekt von Kaltluftliegekuren. Z. Physiother. 39, 269-278.
- KNEIPP, S. (1886): Meine Wasserkur. Erschienen bei Haug Sachbuch, Stuttgart 2002, 7. Auflage.
- KNEIPP, S. (1889): So sollt ihr leben. Erschienen bei Haug Sachbuch, Stuttgart 2002, 7. Auflage.
- KORTUM, H. (1967): Thermische Strahlungsempfänger nach Kortum. Die Technik 22, 664.



- KRAUSE, B., METZLER, P., (1988): Angewandte Statistik. 2. Aufl., Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.
- KRAUSS, H. (1987): Die Sauna. 4. Aufl. Verlag Volk und Gesundheit, Berlin.
- KVERNEBO, K., STAXRUD, L.E., SALERUD, E.G. (1990): Assessment of human muscle blood perfusion with single-fiber laser Doppler flowmetry. *Microvasc. Res.* 39(3), 376-385.
- LEFER, D.J., LYNCH, C.D., LAPINSKI, K.C., HUTCHINS, P.M. (1990): Enhanced vasomotion of cerebral arterioles in spontaneously hypertensive rats. *Microvasc. Res.* 39(2), 129-139.
- LEHMANN, J.F. (1982): Therapeutic heat and cold. 3. Aufl. Williams u. Wilkins. Baltimore, London.
- LE NOBLE, J.L., SMITH, T.L., HUTCHINS, P. M., STRUYKER-BOUDIER, H.A. (1990): Microvascular alterations in adult conscious spontaneously hypertensive rats. *Hypertension* 15(4), 415-419.
- LEWIS, G. (1930): Observations upon reactions in vessels of skin to cold. *Heart* 15, 177-208.
- LINDNER, J. (1990): Gewohnheitsmäßige hydrotherapeutische Maßnahmen und ihre Auswirkungen auf Kreislaufparameter, Haupttemperatur und konsensuelle Gefäßreaktion. Med. Dissertation, München.
- LINDNER, J., SCHNIZER, W. (1991): Auswirkungen regelmäßiger Saunabäder auf Kreislauf, Hauttemperatur und Mikrozirkulation im Zusammenhang mit dem Begriff der Abhärtung. *Intern. Sauna-Archiv* 8, 3-9.
- MATERNA, A., BRENKE, R. (1991): Abhärtung durch Saunabaden. *Therapeutikon* 5, 433-437.
- MAUREL, A., HAMON, P., MACQUIN-MAVIER, I., LAGRUE, G. (1991): Flux microcirculatoire cutane etudie par Laser-doppler. Etude sur une population de 100 sujets volontaires sains. *Presse. Med.* 20(26), 1205-1209.

- MCARDLE, W.D., MAGEL, J.R., GERGLEY, T.J. (1984): Thermal adjustment to cold-water exposure in resting men and women. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exercise Physiol.* 56, 1565-1571.
- MEFFERT, H., RIETSCHEL, L., BAUERHORST, V., SÖNNICHSEN, N. (1971): Vergleichende Infrarotmessung der Wiedererwärmung der Haut beim endogenen und vulgären Ekzem. *Derm. Mschr.* 157, 108.
- MELLANDER, S., JOHANSSON, B. (1968): Control of resistance, exchange, and capacitance functions in the peripheral circulation. *Pharmakol. Rev.* 20(3), 117-96.
- MENGER, W. (2002): *Klimatherapie an der Nord- und Ostsee*. Gustav- Fischer-Verlag, Jena.
- MESSMER, K., KREIMEIER, U. (1989): Microcirculatory therapy in shock: Resuscitation 18 Suppl., 51-61.
- MEYER, J.U., BORGSTROM, P., LINDBOM, L., INTAGLIETTA, M. (1988): Vasomotion patterns in skeletal muscle arteriolar during changes in arterial pressure. *Microvasc. Res.* 35(2), 193-203.
- MEYER, J.U., BURKHARD, P.M., SECOMB, T.W., INTAGLIETTA, M. (1989): The Prony spectral line estimation (PSLE) method for the analysis of vascular oscillations. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 36(9), 968-971.
- MINAMIYAMA, M., HANAI, S. (1991): Propagation properties of vasomotion at terminal arterioles and precapillaries in the rabbit mesentery. *Biorheology* 28(3-4), 275-286.
- MIZUTANI, M., YAMAMURO, T., SHIKATA, J. (1988): Vasomotion in normal and injured spinal cord. *Exp. Neurol.* 101(2), 256-266.
- MORITA-TSUZUKI, Y., BOUSKELA, E., HARDEBO, J.E. (1992): Vasomotion in the rat cerebral microcirculation recorded by Laser-Doppler-Flowmetrie. *Acta Physiol. Scand.* 146(4), 431-439.

- NAKAYAMA, T., HAMMEL, H.T., HARDY, J.D., EISENMAN, J.S. (1963): Thermal stimulation of electrical activity of single units of the preoptic region. *Amer. J. Physiol.* 204, 1122.
- NELMS, J.D. (1963): Functional anatomy of skin related to temperature regulation. *Fed. Proc.* 22, 933-936.
- NILSSON, G.E., TENLAND, T., ÖBERG, P.A. (1980A): A new instrument for continuous measurement of tissue blood flow by light beating spectroscopy. *IEEE Trans. Biomed. Eng. BME* – 27, 12-19.
- NILSSON, G.E., TENLAND, T., ÖBERG, P.A. (1980B): Evaluation of a laser Doppler flowmeter for measurement of tissue blood flow. *IEEE Trans. Biomed. Eng. BME* – 27, 597-604.
- NOVAK, J. (1986): Veränderungen der Körper- und Haupttemperaturen beim Saunabad. *Int. Sauna-Arch.* 3, 11-13.
- OSOL, G., HALPERN, W. (1988): Spontaneous vasomotion in pressurized cerebral arteries from genetically hypertensive rats. *Am. J. Physiol.* 254(1 Pt 2), H 28-33.
- OUDE-VRIELINK, H.H., SLAAF, D.W., TANGELDER, G.J., RENEMAN, R.S. (1989): Changes in vasomotion pattern and local arteriolar resistance during stepwise pressure reduction. *Pflugers Arch.* 414(5), 571-578.
- PEKANMAKI, K., KOLARI, P.J., KIISTALA, U. (1991): Laser Doppler vasomotion among patients with post-thrombotic venous insufficiency. *Vasa.* 20(4), 394-397.
- PIRLET, K. (1960): Menschlicher Wärmehaushalt und kaltes Seebad unter besonderer Berücksichtigung individueller Unterschiede. In: *Arch. Phys. Ther. (Leipzig)* 12, 165-172.
- PFANNENSTIEL (1964): Diskussionsbemerkungen zum Referat Pfeleiderer. In: *Arch. Phys. Ther. (Leipzig)* 1, 25.
- PFLEIDERER, H. (1964): Bioklimatik der Abhärtung. *Arch. Phys. Ther. (Leipzig)* 16, 23-25.

- PHILIP, I., BERNHARD, C., PAYEN, D., TEDGUI, A. (1990): Fibre musculaire lisse vasculaire et systeme nerveux autonome. *Agressologie* 31(4), 179-183.
- PHILIPP, S., BRENKE, R., CONRADI, E., KRAUSE, H. (1991): Der Einfluß regelmäßigen Saunabadens auf die lokale Abwehr des kindlichen Organismus gegenüber akuten respiratorischen Infektionen. *Int. Sauna-Archiv* 8 / 1, 11-18.
- PÖLLMANN, L. (1985): Elevation of the oropharyngeal temperature according to footbathes. *J. Interdiscipl. Cycle Res.* 16, 43-48.
- REIN, H. (1941) : Kreislauf und Stoffwechsel. *Verh. Dtsch. Ges. Kreislaufforsch.* 14, 9-39.
- RENSING, L. (1973): *Biologische Rhythmen und Regulation*. G. Fischer, Stuttgart.
- ROHEN, J.W. (1971) : *Funktionelle Anatomie des Nervensystems*. Schattauer, Stuttgart.
- SCHIFF (1854): Ein accessorisches Arterienherz beim Kaninchen. *Arch. Physiol. Heilk. (Leipzig)* XIII, 523-527.
- SCHILK, I. (2001): Die Wertigkeit unterschiedlicher Untersuchungsverfahren zur Beurteilung der peripheren Zirkulation in der apparativen Diagnostik des Raynaud-Phänomens. *Med. Dissertation*, Marburg.
- SCHMEDITJE, J.F. jr., ECKBERG, D.L. (1991): Preservation of oscillations in postocclusive reactive hyperaemia. *J. Appl. Physiol.* 70(1), 363-367.
- SCHMIDT, R.F., THEWS, G. (1985): *Physiologie des Menschen*. 22. Aufl. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokio.
- SCHNIZER, W., ERDL, R., SCHÖPS, P. (1985): Objektivierung balneotherapeutischer Reize auf die Mikrozirkulation der Haut mit der Laser-Doppler-Flußmessung. Vortrag: XIX. Internationaler Kongreß für Thalassotherapie, Warnemünde.

- SCHOLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., LANGE ANDERSEN, K., LOYNING, Y. (1958): Metabolic acclimation to cold in man. *J. Appl. Physiol.* 12, 1-8.
- SCHUBERT, V., FAGRELL, B. (1991): Evaluation of the cutaneous postischaemic hyperaemia and thermal response in elderly subjects and in an area at risk for pressure sores. *Clin. Physiol.* 11(2), 169-182.
- SEIDEL, W., PINNER, A., CONRADI, E. (1982): Die chronotrope Steuerung der Herz­­tätigkeit in der Sauna. *Z. Physiother.* 34, 181-185.
- SEIFERT, H., JAGER, K., BOLLINGER, A. (1988): Analysis of flow motion by the Laser Doppler technique in patients with peripheral arterial occlusive disease. *Int. J. Microcirc. Clin. Exp.* 7(3), 223-236.
- SELYE, H. (1953): Einführung in die Lehre vom Allgemeinen Adaptationssyndrom. Thieme, Stuttgart.
- SILBERNAGL, S., DESPOPOULOS, A. (2001): Taschenatlas der Physiologie. 5. Auflage, Thieme, Stuttgart, New York, 187-188, 214, 314.
- SIMON, E. (1974): Temperature regulation: The spinal cord as a site of extrahypothalamic thermoregulatory functions. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 71, 1.
- SLAAF, D.W., VRIELINK, H.H., TANGELDER, G.J., RENEMAN, R.S. (1988): Effective diameter as a determinant of local vascular resistance in presence of vasomotion. *Am. J. Physiol.* 255 (5 Pt 2 ), H 1240-1243.
- SLONIM, A.D. (1959): Energiewechsel. In: Lehrbuch der Physiologie, Bykow, K.M., Moskau.
- SLONIM, A.D. (1963): Nervous mechanisms of cold acclimation. *Fed. Proc.* 22, 732-736.
- SMOLANDER, J., KOLARI, P. (1985): Skin blood flow measured by Laser-Doppler and plethysmography. *Eur. J. Appl. Physiol.* 54, 371-377.

- STAXRUD, L.E., KVERNEBO, K., SALERUD, E.G. (1991): Acute effects of local tissue trauma on skin perfusion evaluated with Laser-Doppler-Flowmetry. *Microvasc. Res.* 42(2), 179-186.
- THAUER, R., SIMON, E. (1972): Spinal cord and temperature regulation. In: *Advances in climatic physiology* (Itoh, S., Ogata, K., Yoshimura, H., Eds.). Igaku Shoin Ltd. Tokio. Springer Berlin, Heidelberg, New York.
- TIEDT, N. (1987): Die Abkühlung – eine physiologische und pathophysiologische Reaktion. *Z. Physiother.* 39, 255-262.
- TIEDT, N., ZWIENER, U. (1982): *Taschenbuch der Pathophysiologie*. Fischer, Jena.
- TUROWSKI, E., TÖPFER, M. (1987): Beziehungen zwischen thermischer Empfindung und der Hauttemperatur während und nach Kaltluftliegekuren. *Z. Physiother.* 39, 263-267.
- URSINO, M., FABBRI, G. (1992): Role of the myogenic mechanism in the genesis of microvascular oscillations (vasomotion): analysis with a mathematical model. *Microvasc. Res.* 43(2), 156-177.
- URSINO, M., FABBRI, G., BELARDINELLI, E. (1992): A mathematical analysis of vasomotion in the peripheral vascular bed. *Circoscience* 3(1), 13-25.
- VANBAVEL, E., GIEZEMAN, M.J., MOOIJ, T., SPAAN, J.A. (1991): Influence of pressure alterations on tone and vasomotion of isolated mesenteric small arteries of the rat. *J. Physiol. Lond.* 436, 371-381.
- WADE, O.L., BISHOP, J.M. (1962): *Cardiac output and regional bloodflow*. Blackwell, Oxford.
- WARNKE, J.-P., ZIBELL, B., CONRADI, E. (1984): Mathematische Modellierung der akralen Wiedererwärmung. *Z. Physiother.* 36, 113-117.
- WEISS, M., MILMAN, B., ROSEN, B., EISENSTEIN, Z., ZIMLICHMAN, R. (1992): Analysis of the diminished skin perfusion in elderly people by Laser-Doppler-Flowmetry. *Age-ageing* 21(4), 237-241.

- WILDER, J. (1931): Zur Kritik des Ausgangswertgesetzes. *Klin. Wochenschr.* 36, 148-151.
- WILDER, J. (1967): Stimulus and response. The law of initial value. Wright, Bristol.
- WILKIN, J.K. (1988): Periodic cutaneous blood flow during aldehyde-provoked hyperaemia. *Microvasc. Res.* 35(3), 287-294.
- WILKIN, J.K. (1989): Poiseuille, periodicity and perfusion: rhythmic oscillatory vasomotion in the skin. *J. Invest. Dermatol.* 93 (2 Suppl.), 113-118.
- WINTERFELD, H.J., STRANGFELD, D., SIEWERT, H. (1982): Über die Wirkung der Saunahyperthermie auf die Kreislaufhämodynamik. *Dt. Gesundheitsw.* 17, 999-1001.
- WITZLEB, E. (1985): Funktionen des Gefäßsystems. In: Schmidt, R.F., Thews, G.: *Physiologie des Menschen*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 436, 438 f., 463, 486, 492.
- WOLFF, B. (1955): Der konstitutionsmedizinische Faktor in der Balneologie. *Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk.* 2, 475-481.
- YOSHIMURA, H. (1964): Adaptation to the environment. *Handbook of the Physiology* 109, Washington, D.C., 119-122.
- ZEUNER, H. (1986): Bericht über Internationales Symposium zu Ergebnissen der experimentellen und klinischen Forschung mit Buflomedil. *Med. Mo. Pharm.* Jg. 9, 10, 311.
- ZYSNO, E. A. (1986): Neurologische Erkrankungen. In: Amelung, W., Hildebrandt, G.: *Balneologie und medizinische Klimatologie*. Band 3. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 129-135.

## 9. Anhang

Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	101,8	60,4	288,6	118,1	204,9	77,7	119,2	65,6	191,7	196,3	181,1	94,6	208,6	134,0	19,7
Reiz / 2	113,4	67,8	136,6	146,8	176,0	88,2	110,8	68,7	173,1	178,5	192,4	100,3	226,5	130,6	20,6
Minute 3	129,0	61,4	267,0	122,7	166,0	83,0	100,3	95,1	166,4	160,2	186,2	84,8	225,2	108,0	18,0
Minute 4	154,3	64,2	177,5	127,5	174,0	87,6	119,8	64,3	67,4	193,8	181,6	94,8	220,3	109,0	19,0
Minute 5	154,3	62,4	282,0	129,6	161,3	95,9	126,4	62,3	158,7	167,9	188,2	98,3	229,3	121,4	19,3
Minute 6	161,1	62,4	281,0	106,6	157,0	96,5	116,2	67,8	173,3	174,6	175,5	100,6	223,4	131,2	18,7
Minute 7	176,6	60,5	184,3	131,0	144,0	88,7	116,8	65,1	179,1	171,6	179,6	102,0	216,7	131,0	20,0
Minute 8	170,3	56,0	285,8	123,2	142,5	76,3	117,0	65,7	181,6	178,6	182,3	104,6	210,3	133,8	19,7

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	32,8	65,4	207,8	151,8	108,0	119,9	73,9	31,9	53,3	209,3	25,5	270,3	264,6	20,2	58,4
Reiz / 2	29,3	65,8	197,6	143,4	95,9	95,8	81,5	33,9	40,5	211,8	23,1	260,4	223,8	19,9	53,1
Minute 3	32,4	57,7	189,2	138,7	91,5	92,5	82,8	31,5	39,6	201,4	23,0	267,6	227,1	22,3	48,2
Minute 4	45,3	59,3	192,0	157,3	95,7	85,0	90,2	39,5	47,4	209,1	24,3	264,0	227,4	22,2	46,1
Minute 5	51,3	63,7	198,5	161,8	101,4	85,3	90,7	41,9	45,3	214,0	31,3	270,0	236,6	22,0	43,9
Minute 6	46,1	67,0	194,9	166,2	106,7	84,8	93,8	31,9	47,8	220,2	27,6	262,5	240,0	22,8	43,2
Minute 7	45,0	66,1	193,2	153,2	114,3	93,3	95,0	37,0	54,8	218,3	34,5	258,0	246,0	22,8	38,2
Minute 8	32,4	68,4	187,2	161,0	118,4	86,0	91,7	28,7	52,5	216,6	43,1	260,3	266,3	20,0	37,3

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	227,4	83,6	151,0	330,6	319,8	57,8	183,9	235,2	289,2	122,3	193,6	242,1	104,2	211,2	143,3
Reiz / 2	198,0	61,5	149,3	321,6	205,6	48,9	124,6	233,0	295,5	73,4	174,7	191,6	94,8	188,6	105,6
Minute 3	205,2	79,2	150,1	347,1	264,0	47,0	140,0	234,8	293,6	82,3	189,2	189,0	95,3	192,6	115,5
Minute 4	235,0	85,0	151,5	344,4	318,5	46,9	145,7	237,0	284,0	101,0	198,6	207,0	98,0	149,6	124,8
Minute 5	233,3	85,7	157,1	340,2	336,6	50,5	154,3	228,0	282,9	115,6	207,4	204,0	98,8	207,0	133,3
Minute 6	282,5	93,3	138,9	343,8	336,0	51,8	153,8	237,0	274,0	111,7	181,6	204,0	91,3	217,5	126,8
Minute 7	252,0	102,8	146,8	350,1	345,8	53,2	175,5	238,5	265,7	108,0	191,7	210,0	91,3	213,0	139,8
Minute 8	322,2	106,0	153,5	346,2	312,0	54,9	178,0	224,0	259,2	120,0	188,7	221,1	88,3	220,2	158,8

Tabelle A1:

Mittelwerte der Durchblutung an der Nasenschleimhaut; konsensuelle Reaktion auf ein kaltes Fußbad



Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	77,7	126,5	35,7	118,3	85,4	92,3	126,6	120,3	128,3	134,0	34,6	48,9	98,3	95,4	78,9
Reiz / 2	28,8	26,5	21,0	61,2	39,7	41,7	21,0	8,0	31,2	57,5	15,2	17,5	17,8	18,2	15,9
Minute 3	54,0	55,0	31,8	87,3	62,7	57,0	74,0	77,0	60,8	85,2	47,6	36,8	36,7	67,0	36,3
Minute 4	71,8	108,0	28,2	117,3	75,8	86,0	109,5	102,5	62,2	105,3	35,3	33,4	72,1	84,5	55,0
Minute 5	68,2	99,3	29,0	120,0	10,4	101,3	87,0	53,3	62,6	134,5	18,4	25,8	71,2	88,7	81,0
Minute 6	68,0	128,0	32,5	116,0	83,3	109,3	122,7	84,4	70,6	120,0	23,8	36,4	73,0	94,3	83,5
Minute 7	60,5	116,7	47,7	117,0	85,3	84,3	128,0	114,5	52,8	120,0	24,5	61,9	103,0	67,0	76,3
Minute 8	67,0	127,0	32,7	109,7	66,0	90,8	103,0	77,8	102,0	144,2	28,2	47,8	100,7	86,7	83,5

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	100,0	64,0	126,2	107,8	104,1	84,2	52,2	85,1	79,7	48,4	140,2	66,8	114,7	74,4	21,2
Reiz / 2	23,8	22,0	33,1	46,2	18,6	26,9	6,8	74,7	18,7	16,3	101,6	29,8	60,5	49,3	12,7
Minute 3	52,7	39,3	74,3	79,3	33,3	40,5	19,8	87,7	42,0	40,3	114,3	54,6	109,0	61,6	23,1
Minute 4	89,7	51,7	123,8	90,2	41,4	72,1	23,6	84,3	49,0	55,8	101,7	69,7	135,0	77,0	24,2
Minute 5	62,8	35,7	123,3	83,6	50,3	22,9	42,2	93,3	58,2	56,3	124,3	64,3	152,0	77,5	14,5
Minute 6	73,1	31,7	130,5	67,7	58,3	35,7	70,8	90,5	52,5	34,8	123,2	54,6	138,0	76,3	21,9
Minute 7	53,0	34,5	125,0	54,7	59,0	45,0	64,0	93,8	52,6	30,3	119,7	46,5	151,0	72,3	32,0
Minute 8	79,8	32,4	135,8	88,3	40,3	64,1	64,7	87,3	25,2	82,0	131,6	45,8	149,5	78,2	20,8

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	69,7	116,3	15,9	30,1	57,3	22,6	143,5	22,9	44,4	33,2	178,1	127,7	104,4	31,8	16,8
Reiz / 2	51,0	80,2	8,2	13,7	19,0	13,6	24,6	15,4	20,8	11,5	128,3	82,1	42,8	10,6	2,6
Minute 3	58,3	90,7	11,8	16,7	37,1	19,8	77,2	20,1	42,3	45,3	154,5	117,4	62,0	11,7	6,8
Minute 4	62,3	100,1	15,5	24,4	36,6	45,1	88,2	26,8	51,0	47,8	166,4	115,7	105,5	27,1	10,3
Minute 5	63,0	108,4	21,9	23,8	60,5	22,2	114,8	20,1	52,8	71,3	171,0	148,3	69,3	16,9	11,8
Minute 6	57,7	118,0	10,5	29,3	62,8	22,2	136,0	29,3	58,9	31,0	173,0	144,4	80,0	12,6	9,3
Minute 7	74,3	127,6	16,7	24,7	45,5	33,1	153,5	29,1	38,8	40,5	171,3	135,8	105,8	33,4	10,3
Minute 8	73,6	151,9	27,8	20,3	64,0	23,3	127,3	33,8	49,6	33,3	151,7	144,0	66,0	21,1	13,2

Tabelle A2:

Mittelwerte der Durchblutung am Hypothenar; konsensuelle Reaktion auf ein kaltes Fußbad

Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	37,1	52,1	53,2	46,8	85,5	55,0	61,1	11,6	27,4	33,7	10,2	45,2	28,2	18,7	53,3
Reiz / 2	35,4	49,6	39,2	37,8	46,3	30,9	41,7	10,3	36,5	53,7	9,9	36,7	38,5	21,5	42,1
Minute 3	10,5	7,2	13,0	6,2	16,0	22,0	12,0	6,3	10,6	12,3	5,0	29,9	11,0	4,8	10,3
Minute 4	12,8	10,0	12,0	7,3	14,7	32,2	11,0	6,6	14,3	11,7	2,4	20,7	10,5	6,7	14,7
Minute 5	20,8	14,5	20,0	10,0	16,5	49,0	24,8	3,7	19,5	13,8	7,5	21,7	13,0	7,7	18,3
Minute 6	25,9	18,0	35,7	12,2	19,5	44,5	34,2	5,4	23,4	15,7	9,0	18,7	14,0	11,0	22,1
Minute 7	22,1	20,0	38,4	17,2	25,3	29,3	35,3	6,7	24,8	18,3	8,5	29,5	14,3	10,8	28,3
Minute 8	20,0	28,6	35,6	16,6	25,3	47,2	33,9	9,6	34,7	12,0	6,7	28,0	12,0	7,0	28,3

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	52,4	16,6	30,3	34,2	18,8	31,2	74,6	38,8	31,1	75,5	16,1	18,1	22,1	27,7	41,9
Reiz / 2	23,4	33,2	37,0	16,7	19,3	24,4	67,2	45,2	36,5	40,5	29,0	16,9	19,3	25,4	20,6
Minute 3	7,0	3,7	6,7	13,7	9,3	14,5	37,7	13,2	6,0	12,5	13,2	4,8	14,3	6,2	5,7
Minute 4	9,0	3,3	7,0	20,3	10,0	7,3	26,0	16,7	6,7	11,8	10,0	4,7	13,0	21,0	11,7
Minute 5	18,0	4,0	7,7	20,8	12,3	10,7	31,0	18,3	11,0	17,7	12,0	8,3	17,0	35,2	11,8
Minute 6	13,5	6,7	9,3	20,3	13,3	9,3	37,0	25,0	12,4	38,7	13,7	15,5	17,5	42,2	14,8
Minute 7	19,7	22,6	9,7	21,8	18,0	7,2	59,0	26,7	17,7	47,5	16,3	17,3	14,3	33,8	16,1
Minute 8	40,0	36,3	15,7	22,3	16,2	11,2	72,0	27,6	18,8	46,3	18,6	16,0	14,1	25,7	10,7

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	47,6	44,2	21,6	52,4	38,7	68,2	45,0	17,8	34,7	39,3	29,5	27,9	60,7	26,8	28,4
Reiz / 2	53,5	38,7	43,9	80,3	64,7	47,7	48,8	30,6	14,1	45,5	37,4	31,5	37,3	29,2	39,2
Minute 3	13,7	16,0	6,7	40,0	30,0	12,8	8,3	12,0	21,0	14,0	8,3	12,9	13,0	6,5	11,3
Minute 4	14,1	12,3	5,3	10,0	20,5	10,5	5,3	9,3	10,3	11,0	6,7	12,5	20,0	5,5	14,0
Minute 5	12,3	15,7	4,7	23,0	18,5	24,5	11,0	7,3	19,0	10,0	7,0	9,8	15,0	13,3	19,2
Minute 6	18,6	17,6	7,3	39,7	19,0	36,4	17,7	9,3	35,5	11,0	8,0	12,2	32,7	9,5	20,6
Minute 7	24,0	16,7	9,0	52,7	24,0	30,0	22,0	10,0	42,6	20,0	9,3	13,7	29,3	10,5	18,7
Minute 8	22,1	23,4	8,0	52,7	38,0	25,7	22,3	10,3	44,2	19,0	8,8	12,8	41,3	10,3	18,7

Tabelle A3:

Mittelwerte der Durchblutung am Mittelfinger; lokale Reaktion auf ein Eiswasserbad

Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	11,9	6,3	23,1	21,9	23,4	14,3	16,7	7,9	18,4	23,1	19,8	13,8	16,3	18,3	2,3
Reiz / 2	18,2	10,2	31,1	28,1	24,0	10,2	19,2	9,9	18,7	23,5	25,7	11,5	14,8	28,9	4,3
Minute 3	16,2	9,6	37,8	33,0	29,5	10,3	22,0	14,3	19,9	25,3	37,0	12,0	27,4	42,7	4,0
Minute 4	15,2	9,7	29,3	29,0	18,9	11,1	15,7	8,4	11,6	24,6	31,2	10,8	22,0	40,4	5,7
Minute 5	13,8	7,8	16,2	47,2	23,3	10,1	22,4	13,1	16,6	25,3	19,4	12,8	20,0	31,0	1,7
Minute 6	15,7	5,4	15,0	25,2	23,0	9,7	27,0	7,8	12,7	30,6	35,0	14,8	17,7	20,4	5,5
Minute 7	14,8	7,0	21,8	19,5	29,5	10,2	21,6	10,8	14,9	19,1	28,4	12,4	15,2	19,0	1,7
Minute 8	12,0	7,2	17,3	36,2	26,5	11,6	14,3	8,5	13,7	14,1	21,2	11,6	13,8	24,7	3,7

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	5,4	9,6	23,2	16,9	11,8	12,0	10,3	9,6	12,7	21,2	10,7	16,8	24,3	6,0	6,3
Reiz / 2	10,3	8,0	14,6	21,5	12,3	12,0	17,0	9,4	10,8	17,1	8,4	19,2	51,0	8,4	7,6
Minute 3	8,7	9,9	15,7	19,8	17,0	11,6	8,5	7,7	6,4	24,9	7,7	13,2	24,4	3,5	5,5
Minute 4	12,5	7,9	16,0	16,7	20,3	12,0	6,0	10,2	7,4	21,3	7,6	15,8	42,0	7,7	6,1
Minute 5	9,9	10,2	15,3	18,3	13,4	9,0	8,7	9,6	9,0	25,0	9,2	18,0	28,3	6,7	5,4
Minute 6	11,7	6,2	12,0	16,2	9,7	8,8	6,2	16,6	7,0	17,4	12,4	16,0	57,0	6,6	5,6
Minute 7	11,5	7,6	15,3	20,0	9,2	12,3	8,8	9,5	8,0	21,2	19,9	22,5	28,5	6,7	6,2
Minute 8	10,0	9,1	12,9	17,3	10,2	7,3	10,2	14,7	11,0	20,3	23,7	19,2	27,8	12,7	6,3

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	44,1	8,5	11,6	24,3	26,7	8,0	17,3	14,1	9,6	27,3	10,4	15,9	8,7	24,9	19,3
Reiz / 2	22,3	15,0	15,0	47,4	36,0	6,7	11,4	12,5	12,0	22,2	16,7	18,4	9,4	15,9	20,8
Minute 3	26,4	7,8	19,1	15,0	30,0	6,8	21,7	9,0	11,1	18,8	29,2	17,0	13,3	13,8	20,3
Minute 4	32,0	6,4	16,1	24,3	19,8	5,5	25,3	13,0	17,0	10,0	14,0	14,0	6,6	34,3	11,5
Minute 5	27,0	6,3	21,3	29,1	18,6	5,6	11,8	12,0	12,0	19,3	15,6	14,1	6,2	14,3	8,8
Minute 6	32,0	10,5	29,4	21,9	14,0	8,7	14,0	12,8	12,0	24,0	19,2	14,7	8,7	8,3	14,2
Minute 7	45,0	10,2	11,7	20,1	17,3	5,7	19,0	8,3	9,4	28,5	14,3	14,6	7,0	17,0	11,6
Minute 8	20,4	8,3	21,5	25,8	39,0	6,6	17,3	14,0	8,4	19,7	13,8	16,7	9,3	28,2	11,3

Tabelle A4:

Mittelwerte der Amplituden von Vasomotorik und Vasomotion an der Nasenschleimhaut; konsensuelle Reaktion auf ein kaltes Fußbad

Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	18,7	11,0	18,1	9,7	17,2	35,9	14,1	31,9	16,0	8,7	7,9	33,6	12,1	11,7	115,0
Reiz / 2	15,9	35,5	15,6	27,2	30,7	39,1	27,0	32,6	37,7	34,5	15,5	19,7	18,8	30,0	17,3
Minute 3	32,0	22,8	15,8	32,0	28,0	54,5	34,0	12,8	30,5	19,3	12,9	15,3	16,5	6,5	17,5
Minute 4	23,8	21,7	23,0	11,3	21,8	45,0	15,3	42,0	41,8	44,0	16,4	26,6	9,1	10,0	17,8
Minute 5	16,6	24,0	21,8	9,7	20,0	33,7	44,0	55,3	37,2	6,5	12,6	26,4	15,5	11,7	8,3
Minute 6	22,8	9,0	20,3	16,0	19,3	25,7	16,7	40,0	24,8	38,5	7,7	17,8	22,0	8,3	10,3
Minute 7	15,5	22,7	24,5	11,0	19,7	43,5	10,5	23,8	41,8	28,0	8,3	20,7	15,0	33,0	12,7
Minute 8	28,0	10,7	15,5	15,7	42,7	27,0	41,5	59,5	27,2	6,2	8,0	32,6	16,3	9,3	15,0

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	26,7	21,3	11,9	10,6	16,8	24,2	20,7	9,9	12,6	55,3	11,9	13,4	26,4	13,0	17,5
Reiz / 2	24,1	18,0	26,4	35,0	19,7	25,5	27,4	22,3	36,6	33,7	27,2	25,0	32,8	27,0	13,3
Minute 3	20,5	17,4	23,8	15,5	11,9	34,4	12,7	16,3	15,2	33,0	13,8	15,4	43,0	15,4	19,3
Minute 4	25,0	28,5	12,0	23,0	33,1	25,3	22,1	14,3	31,2	31,7	42,0	17,8	29,0	9,0	25,1
Minute 5	27,0	23,0	24,3	17,4	21,1	28,0	28,8	9,3	17,2	52,3	25,8	21,0	11,0	11,8	21,3
Minute 6	25,1	28,2	10,0	23,8	32,3	37,3	12,8	10,3	19,3	56,3	15,4	21,7	28,0	12,3	18,9
Minute 7	27,7	11,0	19,0	19,3	22,5	19,3	20,2	8,5	29,4	61,0	17,7	20,0	15,0	10,8	17,2
Minute 8	31,0	26,4	12,8	14,7	37,7	24,5	21,7	29,0	36,8	43,4	17,2	26,4	17,0	8,0	16,8

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	19,1	20,4	9,6	7,3	20,8	25,9	12,9	11,2	40,5	26,4	14,8	15,7	15,0	3,3	11,5
Reiz / 2	20,2	23,2	8,9	10,7	17,2	14,7	43,3	10,6	39,8	18,8	23,7	34,7	18,8	14,3	6,1
Minute 3	22,4	28,4	6,1	9,0	9,1	18,7	20,3	14,3	29,9	10,0	11,0	16,5	29,0	9,8	6,9
Minute 4	13,6	29,3	6,2	6,2	19,0	33,0	49,4	14,5	41,6	20,8	15,4	17,1	14,0	6,7	8,9
Minute 5	16,8	25,5	4,8	6,4	15,8	22,3	36,0	10,5	53,8	21,8	18,0	11,3	25,3	9,3	11,1
Minute 6	18,7	22,4	10,5	5,9	17,2	31,3	17,3	14,6	37,4	44,3	12,0	13,0	18,3	11,1	11,3
Minute 7	15,0	21,0	6,7	8,1	12,5	24,0	7,5	9,2	28,0	27,0	18,7	15,9	17,2	3,4	15,6
Minute 8	28,3	10,5	6,8	6,0	19,0	45,8	18,0	12,8	34,9	18,7	18,7	15,3	26,0	12,3	12,2

Tabelle A5:

Mittelwerte der Amplituden von Vasomotorik und Vasomotion am Hypothetar; konsensuelle Reaktion auf ein kaltes Fußbad

Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	7,5	13,6	11,5	9,3	18,0	8,1	8,4	6,3	11,2	7,6	6,8	16,9	19,6	8,1	8,4
Reiz / 2	17,6	16,0	9,0	10,9	34,0	15,2	12,6	6,9	12,2	14,0	5,0	14,0	21,3	7,4	23,8
Minute 3	12,0	27,0	16,0	11,2	21,0	6,0	20,2	5,6	15,7	22,0	5,2	19,8	28,0	17,7	56,0
Minute 4	9,7	3,2	0,0	4,3	4,0	4,0	0,0	5,6	8,6	8,7	0,0	19,3	7,0	0,0	10,7
Minute 5	5,6	4,0	0,0	0,0	3,5	11,0	6,7	8,2	4,7	3,2	0,0	11,3	6,0	0,0	9,9
Minute 6	5,5	4,3	4,7	11,2	6,0	14,3	7,2	0,0	7,3	5,3	0,0	14,2	25,0	0,0	8,8
Minute 7	13,7	13,8	11,0	5,2	7,3	16,7	11,6	0,0	11,0	0,0	4,0	17,3	22,3	7,6	7,9
Minute 8	8,5	8,2	14,4	16,3	11,0	5,8	16,2	3,3	13,3	6,7	0,0	16,0	20,5	8,3	11,8

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	15,5	17,3	6,6	9,3	7,3	10,2	14,8	7,4	9,7	18,8	6,0	10,4	14,5	6,0	13,7
Reiz / 2	21,4	16,2	6,0	13,3	7,9	14,9	13,6	19,1	8,7	22,4	10,1	9,0	13,2	11,9	13,7
Minute 3	22,0	34,3	29,7	8,0	12,2	17,2	13,0	18,5	33,3	8,3	11,7	13,3	13,5	14,7	19,3
Minute 4	0,0	0,0	0,0	8,5	3,7	0,0	14,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0
Minute 5	9,0	0,0	0,0	6,5	4,0	0,0	6,0	6,3	0,0	3,7	0,0	0,0	8,0	4,0	5,7
Minute 6	9,5	7,0	0,0	12,0	0,0	4,3	10,0	5,7	10,2	17,0	0,0	3,3	4,7	6,9	5,0
Minute 7	6,7	13,6	3,3	6,7	6,5	4,0	11,5	6,7	6,0	10,8	0,0	4,6	9,2	10,9	8,9
Minute 8	9,7	16,8	4,0	5,7	6,7	7,3	6,0	9,1	10,8	23,3	4,0	7,3	6,2	7,7	13,3

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	11,5	7,0	12,0	10,3	9,1	19,8	12,8	6,0	9,5	7,2	6,6	8,9	14,8	13,9	7,3
Reiz / 2	15,4	13,2	17,9	16,7	15,2	16,2	9,5	10,7	7,9	13,3	21,4	21,2	30,2	17,2	19,6
Minute 3	45,0	13,5	39,0	40,5	26,3	23,5	17,7	17,0	10,3	30,0	25,5	19,5	22,3	30,0	48,0
Minute 4	9,3	0,0	0,0	0,0	8,5	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	18,0	14,0	3,3
Minute 5	7,0	0,0	0,0	0,0	19,0	4,5	0,0	0,0	4,0	0,0	6,7	6,8	27,0	7,0	4,3
Minute 6	10,7	4,7	0,0	4,3	29,0	7,8	6,3	0,0	7,2	5,0	5,7	4,8	19,7	7,5	7,0
Minute 7	13,4	4,0	4,7	7,7	30,0	19,6	3,8	5,7	7,4	11,0	4,7	5,2	27,3	14,0	5,2
Minute 8	19,8	7,2	11,3	9,3	4,0	24,2	6,1	3,7	11,0	15,0	7,5	6,3	25,5	13,0	6,3

Tabelle A6:

Mittelwerte der Amplituden von Vasomotorik und Vasomotion am Mittelfinger; lokale Reaktion auf ein Eiswasserbad

Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	7,1	6,7	4,4	6,0	7,5	5,8	9,4	5,8	5,7	6,3	6,8	4,1	6,1	5,2	3,0
Reiz / 2	5,1	6,0	6,7	6,2	6,2	6,8	6,0	4,4	7,9	7,3	7,2	5,1	5,7	6,6	3,4
Minute 3	6,0	6,3	4,7	5,3	5,6	5,5	4,1	3,8	8,0	6,0	4,7	6,2	5,0	3,2	2,8
Minute 4	5,8	4,7	3,9	6,4	7,5	6,0	6,0	3,6	7,8	5,2	5,4	6,2	4,1	5,2	1,5
Minute 5	6,2	5,0	6,0	4,5	7,5	7,5	4,7	2,9	6,8	7,8	5,4	6,2	4,8	5,2	1,7
Minute 6	6,4	5,6	5,6	5,8	6,4	6,1	5,0	4,8	6,8	4,8	5,1	4,7	5,3	5,2	1,8
Minute 7	4,7	7,5	4,4	6,2	5,8	7,8	5,2	5,8	8,0	8,3	5,4	4,8	5,7	5,6	2,3
Minute 8	5,7	5,1	3,6	5,0	6,0	5,7	6,2	5,4	7,8	8,6	5,6	5,4	6,0	5,2	2,9

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	6,3	5,3	5,7	6,7	6,0	4,2	5,0	3,8	5,4	6,3	3,8	4,3	5,9	3,6	5,9
Reiz / 2	6,4	5,4	7,0	7,1	7,0	6,0	4,0	4,5	5,8	8,7	3,8	5,0	5,4	2,1	3,9
Minute 3	4,8	4,6	6,0	6,4	3,6	4,0	5,3	4,8	5,0	7,5	2,6	5,2	6,8	2,7	4,0
Minute 4	5,0	4,7	7,5	6,4	4,1	4,8	5,8	7,0	5,4	8,0	4,4	4,1	5,2	2,8	4,6
Minute 5	6,0	4,5	5,5	6,0	3,9	3,9	6,4	5,0	6,7	6,4	3,6	4,3	7,5	2,1	3,4
Minute 6	7,0	6,2	7,0	5,6	6,7	4,1	6,4	4,1	5,3	8,2	4,5	4,6	3,8	3,1	3,6
Minute 7	8,0	6,0	6,2	4,8	5,8	4,6	7,2	3,6	5,4	7,8	3,8	4,3	6,0	2,5	3,5
Minute 8	5,8	4,6	8,1	4,6	5,0	3,8	5,6	2,9	3,9	7,3	3,9	4,7	6,2	1,3	2,5

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	4,2	6,7	8,6	6,8	4,8	3,3	2,5	2,8	8,6	5,5	7,9	7,3	4,7	4,8	5,9
Reiz / 2	7,7	4,4	9,4	5,6	3,9	3,6	5,2	5,6	7,7	5,0	7,5	6,4	4,8	6,4	5,4
Minute 3	5,4	4,5	7,2	10,4	2,6	2,6	2,7	4,2	7,5	6,2	5,3	6,4	4,3	5,6	3,8
Minute 4	5,8	7,5	7,7	7,5	5,6	4,0	2,8	2,8	6,4	7,0	5,4	9,3	4,3	6,8	6,4
Minute 5	4,6	5,6	7,2	6,8	5,2	4,8	4,3	5,2	6,0	7,2	5,8	7,0	6,4	3,9	5,6
Minute 6	5,1	6,2	6,4	7,0	5,5	3,6	3,6	3,3	6,2	6,0	4,5	9,0	2,9	4,1	6,0
Minute 7	4,5	4,8	7,5	7,5	3,9	3,5	2,4	3,4	7,2	5,6	7,0	7,2	4,1	4,5	5,2
Minute 8	3,9	6,0	5,0	6,6	3,1	3,9	2,8	3,9	5,2	6,0	5,6	7,2	3,2	4,3	6,0

Tabelle A7:

Mittelwerte der Frequenzen von Vasomotorik und Vasomotion an der Nasenschleimhaut; konsensuelle Reaktion auf ein kaltes Fußbad

Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	4,8	3,1	7,0	3,2	3,8	4,5	3,8	3,7	3,9	7,0	8,1	4,1	4,8	3,2	3,8
Reiz / 2	7,3	5,5	6,8	6,2	5,6	6,2	6,7	4,2	5,8	5,5	4,3	4,7	4,2	3,8	5,5
Minute 3	3,0	5,8	5,6	4,1	3,0	4,4	2,4	4,0	5,3	6,0	7,1	5,5	6,0	2,5	4,1
Minute 4	5,0	2,8	5,8	2,9	5,8	3,3	4,6	3,2	5,0	3,1	6,0	4,8	7,0	2,9	4,0
Minute 5	5,2	3,8	6,4	3,0	4,4	3,8	3,9	4,1	5,6	4,6	4,0	4,5	6,0	2,5	2,9
Minute 6	4,5	1,9	6,0	2,1	4,3	2,6	2,5	4,8	6,0	1,4	4,4	5,0	4,5	4,5	3,8
Minute 7	5,0	2,6	5,8	1,9	5,6	3,5	2,3	5,8	4,4	5,0	4,3	6,8	2,6	3,1	3,5
Minute 8	2,9	3,8	6,0	1,9	2,6	4,3	1,7	4,1	5,0	5,0	6,9	5,2	2,7	2,2	1,6

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	4,8	4,9	3,7	3,5	10,0	7,0	5,8	3,8	7,1	3,9	5,5	5,5	2,7	4,3	7,1
Reiz / 2	6,7	6,0	6,0	4,5	7,7	8,0	4,3	2,5	6,0	6,7	4,4	5,8	4,1	4,1	6,4
Minute 3	6,0	5,2	4,0	4,5	10,0	8,3	6,4	2,4	6,0	2,8	4,6	4,4	1,5	4,5	5,4
Minute 4	7,2	6,4	3,2	4,6	6,0	7,0	7,2	3,2	4,3	6,0	3,1	5,3	2,0	3,0	5,2
Minute 5	5,6	5,2	3,4	5,0	7,5	7,5	4,8	4,1	5,2	4,4	3,9	3,6	1,9	3,4	4,4
Minute 6	6,6	5,0	2,6	6,0	6,9	6,0	5,4	4,0	6,7	3,4	4,5	6,4	1,2	3,3	5,5
Minute 7	6,4	6,6	2,6	6,2	8,0	8,0	4,7	6,2	3,9	3,5	3,0	4,6	1,1	4,8	6,7
Minute 8	4,3	5,0	3,9	5,6	6,0	8,0	2,9	2,4	6,0	4,2	5,0	4,5	1,1	5,4	6,0

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	4,3	10,0	3,0	6,0	5,9	7,1	3,2	8,1	8,6	3,7	2,9	7,9	4,8	5,5	4,0
Reiz / 2	5,5	10,0	3,5	4,7	4,6	6,0	6,4	8,7	5,6	3,1	2,7	6,2	5,0	3,9	4,3
Minute 3	4,6	6,7	3,3	4,6	7,7	6,4	6,0	6,7	8,9	4,8	3,1	8,6	2,4	4,5	5,3
Minute 4	5,5	7,4	4,3	6,0	5,2	6,4	5,2	5,3	6,6	5,0	5,4	8,1	3,2	5,6	4,8
Minute 5	5,5	8,6	4,0	5,6	7,1	6,4	3,9	7,5	6,4	3,8	1,8	5,3	4,1	5,0	4,4
Minute 6	6,0	7,5	3,3	6,1	5,4	5,6	2,7	6,0	6,4	3,3	2,5	8,0	3,5	3,4	5,2
Minute 7	4,6	7,5	2,9	6,9	8,6	7,2	3,5	5,8	9,3	3,6	2,6	7,5	5,6	5,2	3,4
Minute 8	5,0	7,5	1,8	5,6	6,8	4,3	4,0	4,7	8,0	3,1	3,8	7,2	3,2	3,2	4,5

Tabelle A8:

Mittelwerte der Frequenzen von Vasomotorik und Vasomotion am Hypothenar; konsensuelle Reaktion auf ein kaltes Fußbad

Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	6,3	4,2	4,1	5,8	7,1	5,7	7,1	3,4	6,7	7,1	4,3	7,7	3,8	3,4	4,8
Reiz / 2	4,7	6,0	5,0	7,2	5,5	5,3	6,4	3,7	5,5	5,1	7,1	7,5	4,8	7,3	3,2
Minute 3	3,5	2,2	1,8	3,0	3,5	3,6	2,1	1,0	4,1	3,0	2,0	5,2	5,0	2,7	1,0
Minute 4	1,6	1,8	0,0	2,2	2,7	1,9	0,0	1,6	2,6	1,0	0,0	2,8	1,2	0,0	1,0
Minute 5	2,8	1,6	0,0	0,0	2,4	3,1	1,6	1,2	2,6	2,6	0,0	3,2	2,5	0,0	2,4
Minute 6	4,8	3,8	3,2	2,6	2,6	4,0	3,5	0,0	2,6	0,9	0,0	3,0	2,1	0,0	4,6
Minute 7	3,9	1,7	5,6	2,9	2,5	3,6	3,1	0,0	1,5	0,0	1,0	3,8	3,5	2,6	3,8
Minute 8	2,9	3,3	5,8	2,9	3,9	3,2	4,0	1,0	2,1	1,0	0,0	3,8	2,4	1,0	3,6

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	7,7	3,3	3,8	3,9	3,5	4,9	4,2	5,6	3,8	7,7	3,8	3,4	2,2	4,0	3,9
Reiz / 2	4,8	6,2	6,6	5,6	6,0	5,4	5,6	7,3	3,6	6,7	6,4	3,2	3,6	6,0	8,2
Minute 3	2,5	1,1	1,1	0,9	2,5	1,2	3,2	2,4	1,1	4,6	2,0	3,0	1,9	3,0	1,0
Minute 4	0,0	0,0	0,0	1,0	1,6	0,0	1,6	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Minute 5	1,2	0,0	0,0	3,2	1,0	0,0	1,1	1,1	0,0	2,7	0,0	0,0	1,3	1,8	2,5
Minute 6	2,2	1,2	0,0	1,0	0,0	1,0	1,8	1,0	3,6	3,1	0,0	2,0	2,1	3,2	1,9
Minute 7	2,3	3,2	1,0	2,1	1,8	1,7	2,1	2,3	2,3	4,1	0,0	2,5	1,8	2,9	2,8
Minute 8	3,0	4,1	1,0	2,1	1,4	2,7	2,0	1,8	2,1	4,8	3,8	3,6	2,6	4,0	0,7

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ruhe / 1	7,7	6,4	5,6	5,0	3,4	6,1	5,8	3,1	4,9	6,7	2,9	8,6	6,5	4,8	6,3
Reiz / 2	4,3	5,0	3,8	3,0	6,2	6,6	5,5	8,2	5,8	4,3	2,6	7,1	5,5	5,6	7,3
Minute 3	1,0	2,8	1,0	2,6	3,0	4,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,5	2,6	2,7	3,0	1,3
Minute 4	2,6	0,0	0,0	0,0	1,8	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	3,0	2,1	2,0
Minute 5	2,9	0,0	0,0	0,0	1,8	1,7	0,0	0,0	2,5	0,0	0,9	2,1	1,5	3,0	3,0
Minute 6	3,8	3,5	0,0	3,2	1,4	5,2	1,0	0,0	1,8	1,0	1,0	3,2	2,1	3,2	2,3
Minute 7	3,6	2,2	0,3	3,0	1,6	5,2	2,0	0,9	3,6	2,0	1,4	3,0	3,6	1,9	3,3
Minute 8	4,1	3,0	1,0	2,1	1,3	6,2	2,4	0,7	2,3	1,0	1,3	1,9	4,3	2,4	3,5

Tabelle A9:

Mittelwerte der Frequenzen von Vasomotorik und Vasomotion am Mittelfinger; lokale Reaktion auf ein Eiswasserbad



Kontrollprobanden															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temp zuvor	19,0	16,0	14,0	15,0	14,0	16,0	12,0	11,0	14,0	0,0	10,0	11,0	13,0	14,0	12,0
Eiswasser	-27,0	-16,0	-30,0	-27,0	-23,0	-22,0	-22,0	-23,0	-22,0	-30,0	-27,0	-26,0	-24,0	-22,0	-28,0
nach 0' 30"	-21,0	-12,0	-23,0	-20,0	-19,0	-19,0	-16,0	-18,0	-17,0	-24,0	-21,0	-21,0	-18,0	-18,0	-21,0
nach 1' 30"	-18,0	5,0	-16,0	-12,0	-17,0	-17,0	-14,0	-15,0	-8,0	-20,0	-18,0	-18,0	0,0	-15,0	-16,0
nach 2' 30"	-8,0	10,0	-3,0	3,0	-11,0	-13,0	-10,0	-12,0	2,0	-19,0	-11,0	-13,0	5,0	-2,0	-12,0
nach 3' 30"	1,0	11,0	6,0	9,0	1,0	2,0	1,0	-8,0	8,0	-18,0	-5,0	-1,0	7,0	6,0	-7,0
nach 4' 30"	7,0	13,0	10,0	11,0	6,0	7,0	7,0	-5,0	10,0	-16,0	-1,0	6,0	9,0	9,0	2,0
nach 5' 30"	12,0	14,0	12,0	13,0	8,0	10,0	10,0	-2,0	11,0	-14,0	1,0	9,0	10,0	11,0	6,0
nach 6' 30"	15,0	16,0	13,0	14,0	10,0	13,0	11,0	1,0	12,0	-12,0	3,0	10,0	11,0	12,0	9,0
nach 7' 30"	16,0	16,0	13,0	15,0	13,0	14,0	11,0	5,0	12,0	-11,0	4,0	11,0	12,0	13,0	10,0
nach 8' 30"	16,0	16,0	13,0	15,0	13,0	15,0	11,0	7,0	13,0	-10,0	5,0	11,0	12,0	14,0	11,0
nach 9' 30"	17,0	17,0	14,0	15,0	14,0	15,0	11,0	7,0	13,0	-9,0	6,0	11,0	13,0	14,0	12,0

Saunagänger															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temp zuvor	16,0	15,0	8,0	15,0	11,0	10,0	13,0	12,0	12,0	13,0	2,0	14,0	10,0	13,0	13,0
Eiswasser	-26,0	-25,0	-24,0	-31,0	-25,0	-30,0	-23,0	-24,0	-30,0	-23,0	-24,0	-26,0	-23,0	-27,0	-29,0
nach 0' 30"	-21,0	-21,0	-21,0	-28,0	-21,0	-23,0	-18,0	-17,0	-23,0	-16,0	-22,0	-20,0	-19,0	-21,0	-22,0
nach 1' 30"	-12,0	-12,0	-19,0	-24,0	-17,0	-19,0	-13,0	-13,0	-18,0	-12,0	-20,0	-15,0	-15,0	-16,0	-19,0
nach 2' 30"	3,0	2,0	-15,0	-10,0	-11,0	-17,0	0,0	-10,0	-12,0	-8,0	-19,0	-8,0	-14,0	-11,0	-15,0
nach 3' 30"	9,0	8,0	-8,0	5,0	-6,0	-13,0	8,0	0,0	-2,0	1,0	-17,0	0,0	-12,0	-1,0	-4,0
nach 4' 30"	12,0	11,0	-4,0	10,0	-2,0	-9,0	11,0	5,0	4,0	9,0	-12,0	6,0	-9,0	4,0	7,0
nach 5' 30"	14,0	13,0	-2,0	13,0	0,0	-6,0	12,0	8,0	7,0	11,0	-8,0	10,0	-5,0	7,0	10,0
nach 6' 30"	14,0	15,0	-1,0	14,0	2,0	-4,0	12,0	9,0	8,0	12,0	-6,0	12,0	-2,0	8,0	11,0
nach 7' 30"	14,0	15,0	0,0	14,0	3,0	-1,0	12,0	9,0	9,0	12,0	-4,0	13,0	1,0	11,0	12,0
nach 8' 30"	14,0	16,0	1,0	15,0	4,0	1,0	13,0	10,0	9,0	13,0	-4,0	14,0	2,0	11,0	12,0
nach 9' 30"	14,0	15,0	2,0	15,0	5,0	3,0	13,0	11,0	9,0	14,0	-4,0	14,0	4,0	12,0	12,0

Eisbader															
Proband	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temp zuvor	20,0	17,0	20,0	14,0	14,0	12,0	16,0	16,0	5,0	14,0	7,0	13,0	15,0	14,0	12,0
Eiswasser	-30,0	-31,0	-28,0	-26,0	-27,0	-20,0	-25,0	-27,0	-27,0	-27,0	-24,0	-30,0	-28,0	-29,0	-27,0
nach 0' 30"	-26,0	-25,0	-21,0	-21,0	-20,0	-18,0	-20,0	-19,0	-23,0	-21,0	-21,0	-26,0	-23,0	-24,0	-23,0
nach 1' 30"	-21,0	-20,0	-1,0	-18,0	-17,0	-15,0	-13,0	-15,0	-20,0	-16,0	-18,0	-22,0	-17,0	-20,0	-20,0
nach 2' 30"	-17,0	-9,0	12,0	-16,0	-9,0	-13,0	1,0	-7,0	-18,0	-12,0	-16,0	-17,0	-2,0	-8,0	-15,0
nach 3' 30"	-6,0	3,0	15,0	-9,0	1,0	-10,0	7,0	4,0	-15,0	-8,0	-14,0	-8,0	9,0	4,0	-6,0
nach 4' 30"	6,0	10,0	17,0	0,0	8,0	-6,0	10,0	10,0	-11,0	-5,0	-10,0	1,0	12,0	9,0	3,0
nach 5' 30"	10,0	13,0	18,0	7,0	11,0	-2,0	13,0	12,0	-8,0	-1,0	-6,0	7,0	13,0	11,0	6,0
nach 6' 30"	13,0	15,0	18,0	10,0	13,0	2,0	14,0	14,0	-5,0	3,0	-1,0	9,0	14,0	13,0	8,0
nach 7' 30"	16,0	16,0	18,0	12,0	13,0	6,0	15,0	15,0	-1,0	7,0	3,0	11,0	14,0	13,0	9,0
nach 8' 30"	16,0	16,0	18,0	13,0	13,0	8,0	16,0	15,0	2,0	9,0	6,0	12,0	14,0	14,0	10,0
nach 9' 30"	16,0	16,0	19,0	12,0	13,0	10,0	16,0	16,0	4,0	10,0	6,0	13,0	14,0	14,0	11,0

Tabelle A 10:

Akrale Wiedererwärmung - alle Werte in Millivolt - vor, während und nach dem einminütigen Bad des Zeigefingers im Eiswasser (die Registrierung erfolgte länger als die hier aufgeführten Werte)

## L E B E N S L A U F

**Name:** Kai Joachim Günter Blaurock;

**Geburtsdatum:** 07.04.1964;

**Geburtsort:** Berlin;

**Anschrift:** 15738 Zeuthen, Lindenallee 04;

**Familienstand:** verheiratet;

**Konfession:** evangelisch;

**Eltern:** Jutta Blaurock geb. Haubner ,  
Medizinisch – Technische Assistentin;  
Dr. med. Günter Blaurock (\* 1907, † 1995 )  
Facharzt für Innere Medizin, Kinderheilkunde  
sowie für Mikrobiologie;

**Schulbildung:**

1970 – 1977 Polytechnische Oberschule Zeuthen I;

1977 – 1980 Kinder- u. Jugendsportschule für Wasserfahrtsport Berlin;

1980 – 1982 Erweiterte Oberschule „Alexander von Humboldt“ Berlin;

**Berufliche Ausbildung:**

1982 – 1984 Vorpraktikum Kreiskrankenhaus Königs Wusterhausen;

1984 – 1990 Studium der Humanmedizin Humboldt-Universität zu Berlin;

01.09.1990 Approbation und Verleihung des akademischen Grades eines  
„Diplom-Mediziners“ am Universitätsklinikum Charité der  
Humboldt – Universität zu Berlin;

1990 – 1995 Weiterbildung zum Facharzt für Physikalische und  
Rehabilitative Medizin am Universitätsklinikum Charité;

23.09.1995 Anerkennung als Facharzt für PRM; Zusatzbezeichnung Chirotherapie;

1995 – 2000 Grundwehrdienst, Ausbildung zum Fallschirmspringer und  
Fliegerarzt, Auslandseinsatz in Jugoslawien, seither OSA(R);

2000-2002 Leitender Facharzt der Abteilung Physiotherapie im Klinikum  
Dahme-Spreewald GmbH Königs Wusterhausen;

2002-2003 Niederlassung in eigener Praxis als Facharzt für Physikalische und  
Rehabilitative Medizin in der Hansestadt Stralsund, Wasserstraße 39;

seit 1.12.03 Verlegung des Kassenarztsitzes nach Berlin-Neukölln, Donaustraße 39.

## DANKSAGUNG

Die lange Dauer der Arbeit an dieser medizinischen Dissertation ist Folge der seit 1989 mit den gesellschaftlichen auch einsetzenden gesundheitspolitischen Umwälzungen. So stand für mich in den Jahren nach der Approbation zunächst das Festhalten an dem aus Leidenschaft gewählten Facharzt für Physiotherapie im Vordergrund. Dazu kam die unverhoffte Tatsache, daß im Anschluß an die Facharztprüfung und den Tod meines Vaters 1995 die Einberufung zum Grundwehrdienst bei der Bundeswehr und dann die Verpflichtung zum Zeitsoldaten einschließlich Auslandseinsatz folgte.

Wie auch zum Beispiel bei meiner Zuständigkeit in Regensburg für Ausnahmegenehmigungen hinsichtlich der Fallschirmsprungverwendungsfähigkeit von Soldaten aller drei Teilstreitkräfte oder dem Dienstposten als sog. Fliegerarzt – wo ich den Sprunglehrgang doppelt so alt wie meine Kameraden in Altenstadt / Schongau erfolgreich absolvierte und außerdem in der größten Humanzentrifuge der Welt in Königsbrück angeschnallt auf die doppelte Fallgeschwindigkeit beschleunigt bzw. verzögert wurde – wollte ich Sauna und Winterschwimmen selbst kennenlernen und dann aus besserer Perspektive beurteilen.

Hiermit sage ich Dank in allererster Linie meinem Mentor und ärztlichem Vorbild, Herrn Chefarzt PD Dr. Rainer Brenke, der mich 1989 nach meiner Diplomierung über Kurzwellentherapie zunächst auf das Abhärtungsthema brachte und über all die Jahre und auch Entfernungen stets in freundlich-bestimmter Form ergiebig beraten hat.

Schon während der 1991 durchgeführten Versuchsreihen erwies sich mein eisbadender Proband Herr Dr. Ralf Riebel als kompetenter Ratgeber bei technischen Fragen des Versuchsaufbaus.

Den im Laufe der Jahre sich rasant ändernden Anforderungen von Textverarbeitung und einzufügenden graphischen Darstellungen einschließlich mehrerer Programmabstürze mit Hard- sowie Software-Umstellungen vermochte ich aufgrund der freundschaftlichen Verbundenheit von Herrn Mirko Balke, Frau Erika Podschun und Frau Maria-Rose Schumann zu trotzen.

Für das Korrekturlesen zu Dank verpflichtet bin ich der Studienrätin Frau Angela Giudice sowie den Professoren Herrn Dr. phil. Alfred Kosing und Herrn Dr. jur. Uwe Blaurock.

Auch während familiärer und beruflicher Umbrüche zuverlässige Ratgeber bleiben meine Mutter Jutta Blaurock und meine Frau Kerstin Blaurock, denen ich nicht nur den Impuls zur Fertigstellung auch dieser umfangreichen Arbeit nach recht langer Zeit verdanke.

Zeuthen, im März 2005

Joachim Blaurock

# ERKLÄRUNG

Ich erkläre hiermit, daß ich die der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin vorgelegte Dissertation mit dem Titel

**Durchblutungsänderungen von Haut und Nasenschleimhaut durch Konditionierung  
mittels verschiedener gewohnheitsmäßiger hydrotherapeutischer Maßnahmen**

an der Klinik und Poliklinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin, unter Betreuung von Herrn PD Dr. med. R. Brenke, ohne sonstige Hilfe durchgeführt habe und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel verwendet habe. Sie stellt auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten dar.

Bislang habe ich an keiner in- oder ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um die Erlangung der Promotion eingereicht, noch diese oder eine andere Dissertationsarbeit vorgelegt.

Zeuthen, 2005-03-28

Joachim Blaurock